

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Návrh technologického postupu  
výroby mísy tažením z plechu  
s využitím MKP**

Project of Production Technology  
Process of the Pan by Drawing  
from Sheet-Metal with the Use of FEM

Student:

Jiří Hráček

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Radek Čada, CSc.

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Hráček**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Návrh technologického postupu výroby mísy tažením z plechu s využitím MKP**  
**Project of Production Technology Process of the Pan by Drawing from Sheet-Metal with the Use of FEM**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Popište sestavu mísy pro přípravu betonu pro následné zkoušky a navrhnete alternativy technologického postupu výroby mísy z plechu.
2. Porovnejte několik alternativ materiálu plechu a vyhodnoťte jejich vliv na tažení výtažku mísy.
3. Posuďte tvar výtažku mísy z hlediska zásad technologičnosti konstrukce.
4. Pro výtažek mísy sestojte tvar přístřihu více metodami a vzájemně je porovnejte.
5. Proveďte simulaci procesu tažení zadané součásti s využitím programu PAM-STAMP. Vyhodnoťte tloušťku výtažku po tažení, ztenčení, deformace a jejich znázornění v diagramu mezních deformací, rozložení normálové deformace a pohyb okraje přístřihu při tažení. Posuďte, zda vznikne sekundární zvlnění při působení tažníku na malou plochu přístřihu a zvažte použití brzdící lišty.
6. Analyzujte kritická místa na výtažku a v případě potřeby proveďte úpravy tvaru součásti s cílem snížit nebo odstranit rizika vzniku prasklin při tažení. Pokud bude tvar součásti upravován, proveďte simulace procesu tažení pro každou alternativu.
7. Navrhnete tvářecí nástroj pro výrobu mísy tažením z plechu.
8. Proveďte finální návrh technologie výroby zadané součásti z plechu tažením na lisu včetně nástřihového plánu pro 100 kusů výrobků a celkové zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČADA, R. *Tvářitelnost ocelových plechů: odborná knižní monografie*. Lektorovali: L. Pollák a P. Rumíšek. 1. vyd. Ostrava: REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.

EVIN, E., HRIVŇÁK, A. a KMEC, J. Získavanie materiálových údajov pre numerickú simuláciu. In: *Zborník prednášok 7. medzinárodnej konferencie TECHNOLÓGIA 2001: I. diel*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2001. s. 281-284. ISBN 80-227-1567-0.

PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt: Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 48 s.

ČSN ISO 2145 (01 0184) *Dokumentace: Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 6 s.

ČSN ISO 7144 (01 0161) *Dokumentace: Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 24 s.

ČSN ISO 80000-1 (01 1300) *Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 60 s.

ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 40 s.

ČSN ISO 214 (01 0148). *Dokumentace: Abstrakty pro publikace a dokumentaci*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 16 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Radek Čada, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.  
vedoucí katedry



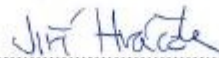
  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady i literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech výtažku mísy získaných od firmy TPL s. r. o., Brno, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 21. května 2018.



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen „autorský zákon“), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB – TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018.



Podpis studenta

Jiří Hráček

Dlouhá 1969, Tišnov, 666 01

## Anotace

### ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HRÁČEK, J. *Návrh technologického postupu výroby mísy tažením z plechu s využitím MKP: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 67 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem technologického postupu výroby mísy procesem tažením plechu s využitím simulačního softwaru PAM-STAMP. V úvodu je popsána sestava mísy pro přípravu betonu a navrhnutý i vyhodnocený alternativní technologický proces výroby mísy s procesem tažení plechu. Je porovnáno několik alternativ austenitické oceli a vyhodnocen jejich vliv na proces tažení plechu. Z hlediska zásad technologičnosti výroby procesem tažení plechu je posouzen tvar výtažku mísy. Optimální velikost a tvar přístříhu jsou sestrojeny a porovnány několika metodami. Je provedena simulace v softwaru PAM-STAMP a vyhodnocena tloušťka výtažku mísy po tažení a deformace znázorněné v diagramu mezních deformací. V závěru je vytvořen finální návrh technologického postupu výroby mísy procesem tažení plechu spolu s nástřihovým plánem pro 100 kusů výrobku a tvářecími nástroji v přílohách.

### ABSTRACT OF THE BACHELOR THESIS

HRÁČEK, J. *Project of Production Technology Process of the Pan by Drawing from Sheet-Metal with the Use of FEM: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2018, 67 p. Thesis head: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

This bachelor thesis deals with a project of production technology process of the pan by drawing from sheet-metal with use of PAM-STAMP software. The introduction of the thesis describes the assembly of the pan for the preparation purpose of concrete and it shows a concept and assessment of possible alternative technology. The thesis compares several alternatives of stainless steel and its impact on the process of sheet-metal forming. The shape of the pan is assessed from the point of view of manufacturing technology rules. Suitable size and shape of the sheet-metal plate are designed and compared by several methods. The simulation is performed in PAM-STAMP software, thickness of the pan is assessed and its deformation is shown in the FLD diagram. The final technological procedure is demonstrated in the conclusion together with the cutting plan for 100 pieces of the product and the appendix shows sheet-metal tools.

# Obsah

	strana
<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>10</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>1 Tažení plechů .....</b>	<b>13</b>
1.1 Rozdělení tažení plechů .....	14
1.2 Tažení válcových výtažků bez ztenčení stěny .....	15
1.3 Zásady technologičnosti tažení plechů .....	15
1.4 Technologické parametry pro tažení plechů .....	15
<b>2 Simulace tvářecí procesů s využitím specializovaných softwarů .....</b>	<b>17</b>
2.1 Tvářecí procesy simulované softwarem PAM-STAMP .....	17
<b>3 Korozi-vzdorné oceli a jejich vliv na tvářecí procesy .....</b>	<b>19</b>
3.1 Austenitické oceli Cr-Ni a Cr-Ni-Mo .....	19
3.2 Legující prvky austenitických ocelí a jejich vliv na tvářecí procesy .....	20
3.2.1 Chrom (Cr) .....	20
3.2.2 Nikl (Ni) .....	21
3.2.3 Mangan (Mn) .....	21
3.2.4 Křemík (Si) .....	21
3.2.5 Molybden (Mo) .....	21
3.3 Austenitické oceli (1.4301, 1.4306/1.4307 a 1.4401) .....	22
3.3.1 Chemické složení podle ČSN EN 10088-2 .....	23
3.3.2 Způsob provedení a jakost povrchu plechu podle ČSN EN 10088-2 .....	23
3.3.3 Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě podle ČSN EN 10088-2 .....	24
<b>4 Varianty sestrojení optimálního tvaru a velikosti přístřihu .....</b>	<b>25</b>
4.1 Metoda založená na součtu vnitřních ploch válcového výtažku .....	26
4.2 Metoda založená na grafickém určení průměru přístřihu .....	26

4.3	Metoda řezů .....	27
4.4	Metoda využívající trajektorii maximálních smykových napětí .....	27
<b>5</b>	<b>Důležité technologické parametry pro konstrukci tvářecích nástrojů.....</b>	<b>27</b>
5.1	Odstupňování tažných operací.....	28
5.2	Rozhodnutí o nutnosti použití přidržovače při tažení.....	29
5.3	Stanovení tlaku a síly přidržovače .....	29
5.4	Stanovení optimální tažné mezery v jednotlivých operacích .....	30
5.5	Stanovení poloměrů zaoblení tažné hrany tažnice.....	30
5.6	Stanovení zaoblení tažné hrany tažníku .....	31
5.7	Stanovení tažné a celkové síly lisu .....	31
<b>6</b>	<b>Technologický návrh postupu výroby výtažku mísy procesem tažení plechu.....</b>	<b>32</b>
6.1	Představení firmy TPL, s. r. o.....	33
6.2	Popis sestavy mísy .....	33
6.3	Možné varianty výroby mísy jinými technologiemi a následné zhodnocení .....	33
6.3.1	Výroba mísy procesem tažení plechu .....	33
6.3.2	Výroba mísy svařováním.....	34
6.3.3	Výroba mísy postupným kovotlačením .....	34
6.3.4	Vyhodnocení nejvhodnější technologie pro sestavu mísy.....	35
6.4	Volba nejvhodnější austenitické oceli .....	36
6.4.1	Vyhodnocení nejvhodnější austenitické oceli .....	36
6.5	Posouzení tvaru výtažku mísy z hlediska zásad technologičnosti.....	37
6.5.1	Celkové zhodnocení zásad technologičnosti pro výtažek mísy.....	38
6.6	Sestrojení tvaru a velikosti přístřihu pro výtažek mísy více metodami.....	38
6.6.1	Metoda výpočtu pomocí vnitřních ploch výtažku mísy .....	38
6.6.2	Grafická metoda podle Guldinovy věty pro výtažek mísy .....	39
6.6.3	Metoda řezů pro výtažek mísy .....	40
6.6.4	Metoda TMSN pro výtažek mísy .....	41



6.6.5	Vyhodnocení nejvhodnějšího tvaru a velikosti přístřihu výtažku mísy a vzájemné porovnání .....	41
6.7	Výpočet a vyhodnocení technologických parametrů pro konstrukci tvářecích nástrojů .....	41
6.7.1	Stanovení počtu tažných operací .....	42
6.7.2	Rozhodnutí o nutnosti přidržovače a určení přidržovací síly lisu .....	42
6.7.3	Určení tažné mezery, poloměrů zaoblení tažné hrany tažnice a tažníku.....	43
6.7.4	Stanovení tažné síly a celkové síly lisu .....	44
6.7.5	Shrnutí výsledků technologických parametrů pro proces tažení .....	44
6.8	Simulace tažení výtažku mísy pomocí softwaru PAM-STAMP .....	44
6.8.1	Znázornění simulace procesu tažení v několika krocích .....	46
6.8.2	Znázornění a zhodnocení tloušťky výtažku mísy po tažení .....	48
6.8.3	Znázornění a zhodnocení rozložení napětí po tažení .....	49
6.8.4	Znázornění a analýza diagramů mezních deformací po tažení .....	49
6.8.5	Znázornění nejmenší šířky příruby po tažení .....	51
<b>7</b>	<b>Nástřihový plán pro 100 kusů výtažků mísy .....</b>	<b>51</b>
7.1	Vyhodnocení nejvhodnější varianty nástřihového plánu pro 100 kusů.....	52
<b>8</b>	<b>Souhrn technologického návrhu postupu výroby mísy tažením z plechu.....</b>	<b>53</b>
8.1	Dokončovací technologická operace výtažku mísy - lemování hrany .....	54
<b>9</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>Seznam použité literatury a související legislativy .....</b>	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>59</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

$A$	tažnost materiálu pro zkušební tělesa s měrnou délkou $5,65 \cdot \sqrt{s}$	(%)
$A_{80}$	tažnost materiálu pro zkušební tělesa s měrnou délkou 80 mm	(%)
$D_0$	velikost teoretického průměru přístřihu	(mm)
$D_{0skut}$	velikost skutečného průměru přístřihu	(mm)
$d_i$	střední průměr výtažku v i-té tažné operaci	(mm)
$d_1$	střední průměr výtažku po prvním tažné operaci	(mm)
$d_2$	střední průměr výtažku po druhém tažné operaci	(mm)
$F_{ci}$	celková tažná síla lisu v i-té tažné operaci	(N)
$F_{pi}$	přidržovací síla v i-té tažné operaci	(N)
$F_{ti}$	tažná síla v i-té tažné operaci	(N)
$F_{vi}$	vyhazovací síla v i-té tažné operaci	(N)
$F_{c1}$	celková tažná síla lisu pro první tažnou operaci	(N)
$F_{p1}$	přidržovací síla pro první tažnou operaci	(N)
$F_{t1}$	tažná síla pro první tažnou operaci	(N)
$h$	maximální výška výtažku	(mm)
$i$	počet tažných operací	(–)
$KV_2$	nárazová práce (ISO-V)	(J)
$k$	násobek korigující povrchovou křivku	(–)
$k_i$	opravný silový součinitel pro druhou a další tažnou operaci	(–)
$k_1$	opravný silový součinitel pro první tažnou operaci	(–)
$L$	délka tvořící křivky	(mm)
$L_1$	velikost délky první tvořící křivky	(mm)
$L_2$	velikost délky druhé tvořící křivky	(mm)
$L_3$	velikost délky třetí tvořící křivky	(mm)
$L_4$	velikost délky čtvrté tvořící křivky	(mm)
$L_5$	velikost délky páté tvořící křivky	(mm)
$L_6$	velikost délky šesté tvořící křivky	(mm)
$M_C$	celkový součinitel odstupňování tahu	(–)
$M_1$	součinitel odstupňování tahu pro první tažnou operaci	(–)
$M_2$	součinitel odstupňování tahu pro druhou tažnou operaci	(–)
$p_i$	potřebný měrný tlak přidržovače v i-té tažné operaci	(MPa)
$p_1$	potřebný měrný tlak přidržovače pro první tažnou operaci	(MPa)
$R_m$	mez pevnosti v tahu pro konkrétní tažený materiál	(MPa)
$R_0$	poloměr přístřihu určený z metody řezů	(mm <sup>2</sup> )
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace 0,2 % $L_0$ po zatížení	(MPa)
$R_{p1,0}$	smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace 1,0 % $L_0$ po zatížení	(MPa)
$R_T$	vzdálenost těžiště tvořící křivky od osy rotace	(mm)
$r_p$	poloměr zaoblení tažné hrany tažníku	(mm)
$r_{tn}$	poloměr tažné hrany tažnice pro druhou a další tažnou operaci	(mm)
$r_{t1}$	poloměr tažné hrany tažnice pro první tažnou operaci	(mm)
$S$	celkový součet vnitřních ploch výtažku mísy	(mm <sup>2</sup> )
$S_C$	celková plocha spotřebovaného materiálu	(mm <sup>2</sup> )
$S_i$	účinná plocha přidržovače v i-té tažné operaci	(mm <sup>2</sup> )
$S_V$	součet všech obsahů ploch přístřihu	(mm <sup>2</sup> )
$S_1$	účinná plocha přidržovače pro první tažnou operaci	(mm <sup>2</sup> )

$s$	jmenovitá tloušťka přístřihu	(mm)
$t_{mk}$	tažná mezera pro tažnou operaci, kde se provede kalibrace	(mm)
$t_{mn}$	tažná mezera pro poslední tažnou operaci	(mm)
$t_{m1}$	tažná mezera pro první tažnou operaci	(mm)
$X$	využití materiálu pro nástřihový plán	(%)
$z$	materiálová konstanta	(–)
$\alpha$	součinitel pro určení použití přidržovače	(–)

## Úvod

V současném strojírenské technologii procesu tažení plechů jsou často používány korozivzdorné oceli, především austenitické korozivzdorné oceli, které mají výborné plastické vlastnosti a odolnost vůči různým korozním prostředím. Tyto materiály jsou v dnešní době dostupné a vyznačují se poměrně přijatelnou cenou vzhledem ke svým vlastnostem. Pro návrh technologického postupu výroby procesem tažení jsou v současné době běžné využívány nejrůznější simulační softwary, které slouží k analýze a vyhodnocování deformací, míry ztenčení tloušťek a dalších parametrů u výtažků. Pomocí těchto simulačních softwarů je už na začátku technologického postupu eliminována zmetkovitost výrobků z různých materiálů a tloušťek, která by se projevila až po tažení na reálném výtažku a ušetří se tak celkové výrobní náklady.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem technologického postupu výroby pro sestavu mísy, která slouží pro přípravu betonu a pro následné zkoušky. V návrhu technologického postupu výroby mísy procesem tažení plechu jsou na začátku porovnávány alternativní technologie s procesem tažení, alternativy několika austenitických ocelí a jejich vliv na proces tažení výtažku mísy. Dále je zhodnocen tvar výtažku mísy vzhledem k zásadám technologičnosti tažení, sestaven a porovnán tvar a velikost přístřihu několika metodami. Pro simulaci procesu tažení plechu slouží speciální software PAM-STAMP, kde je vyhodnocována a analyzována tloušťka výtažku mísy po tažení, deformace pomocí diagramu mezních deformací. Na konci tohoto technologického postupu je vytvořen nástřihový plán pro 100 kusů výrobku a vytvořena výrobní dokumentace tvářecích nástrojů.

Závěr obsahuje tři části vyhodnocení technologického návrhu postupu výroby mísy procesem tažení plechu. V první části jsou shrnuty všechny poznatky z dílčích závěrů z předcházející kapitol a ve zbývajících částech je vytvořen praktický a odborný závěr. Praktický závěr nabízí doporučení pro konkrétní výtažek mísy z austenitické korozivzdorné oceli. V odborné části závěru jsou analyzovány a navrhнутy doporučení, které slouží pro budoucí řešení technologických návrhů, které jsou určeny pro austenitické korozivzdorné oceli.

# 1 Tažení plechů

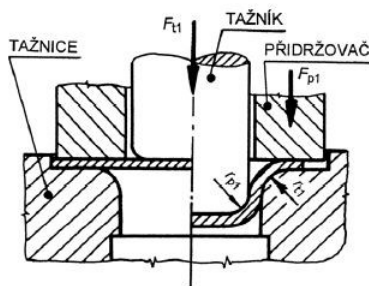
První kapitola seznamuje s technologií tažení plechů, což je jeden z procesů tváření kovů. Je v ní popsáno rozdělení tažení plechů a tažení válcových výtažků bez ztenčení stěny, který souvisí s technologickým procesem výroby mísy, která je předmětem této bakalářské práce. Dále jsou popsány zásady technologičnosti tažení a technologické parametry tažení plechů.

Podle Čady (2007, s. 157) u tažení plechu dochází k trvalé deformaci, při které vznikají z rovinných přístřihů prostorové duté výtažky, jež nejsou rozvinutelné. Jedná se o plošné tváření, protože požadovaný tvar výtažku se dosahuje bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu.

Výhody tažení plechů jsou následující:

- tuhost,
- sestavovatelnost,
- nízká hmotnost,
- dobrá kvalita povrchu,
- nízké výrobní náklady (pro velkosériovou výrobu).

Podle článku Technologie tváření kovů z webové stránky Technické univerzity Liberec se z hlediska rozdělení tvářecích procesů jedná o tváření za studena (tváření pod rekrytalizační teplotou, kdy teplota tváření je pod hodnotou 30 % teploty tání daného materiálu). Dochází ke zpevňování materiálu, které se zachová a k nárůstu odporu proti dalšímu tažení (později dojde k vyčerpání plastičnosti materiálu). Zrna se deformují ve směru tváření, vytváří se textura a dochází k anizotropii mechanických vlastností. Mechanické vlastnosti se mění, kde mez kluzu a mez pevnosti roste a naopak tažnost klesá. Tepelným zpracováním (zahřátím) lze materiálu obnovit deformační schopnosti, tedy materiál získá opětovné plastické vlastnosti a může být tvářen (2, kap. 1).

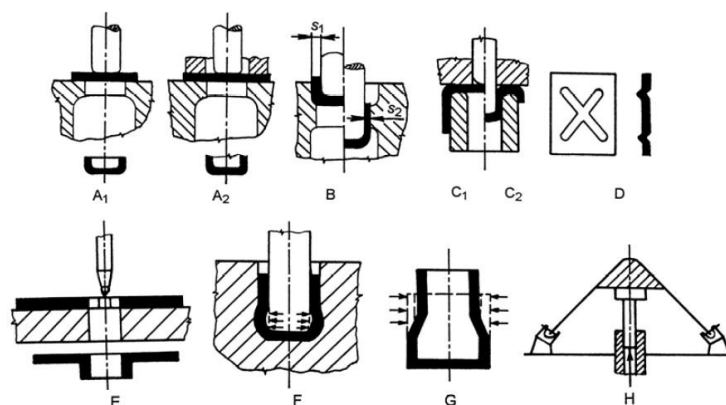


Obrázek 1.1 – Schéma nástroje pro tažení plechu (1.tah) <sup>1</sup>

## 1.1 Rozdělení tažení plechů

Čada a kolektiv (2012, s. 93–94) popisují přehled názvosloví a základních tažných operací podle ČSN 22 6001, kde tato norma rozděluje procesy tažení následovně (Obrázek 1.2):

- a) **tažení prosté** (Obrázek 1.2 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>) je tváření rovinného přístříhu uzavřenou plochou bez podstatné změny tloušťky materiálu (výchozího),
- b) **tažení se ztenčením stěny** (Obrázek 1.2 B) je tváření dutého polotovaru, který je charakterizován zmenšením příčného průměru, při čemž dochází ke zmenšení tloušťky stěny výtažku z hodnoty  $s_1$  na  $s_2$ ,
- c) **zpětné tažení** (Obrázek 1.2 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>) – pro tento proces se využije první operace pro tažení prosté a v následující operaci se provede v obráceném směru vůči tažení předchozímu,
- d) **žlábkování** (Obrázek 1.2 D) – proces, charakterizovaný vytlačováním mělkých prohlubenin za účelem zvýšení tuhosti polotovaru,
- e) **protahování** (Obrázek 1.2 E) – proces, charakterizovaný protahováním materiálu po vnějším nebo vnitřním okraji tak, aby byla vytvořena kolmá válcová plocha,
- f) **rozšiřování** (Obrázek 1.2 F) – jde o místní zvětšování výchozího válcového polotovaru,
- g) **zužování** (Obrázek 1.2 G) – jde o místní zužování výchozího válcového polotovaru,
- h) **přetahování** (Obrázek 1.2 H) – tváření rovinného polotovaru v prostorovou plochu napínáním přes danou šablonu.



Obrázek 1.2 – Rozdělení procesů tažení (A<sub>1</sub> – tažení prosté bez přidržovače, A<sub>2</sub> – tažení prosté s přidržovače, B – tažení se ztenčením stěny, C<sub>1</sub> – vložení polotovaru vyrobeného dle Obrázku 1.2 A<sub>1</sub> nebo A<sub>2</sub>, C<sub>2</sub> – tažení v obráceném směru vůči tažení předchozímu, D – žlábkování, E – protahování, F – rozšiřování, G – zužování, H – přetahování)<sup>3</sup>

## 1.2 Tažení válcových výtažků bez ztenčení stěny

U tažení válcových výtažků bez ztenčení stěny nedochází k ovlivňování tloušťky plechu geometrií nástroje (mezi tažníkem a tažnicí je dostatečná vůle, aby jí mohly projít i zesílené okraje výtažku). Tloušťka plechu se ve skutečnosti u dna zmenšuje a u okraje výtažku se napěchováním zvětšuje, ale změna není příliš velká, proto se zanedbává – zákon stálosti objemu přejde v zákon stálosti ploch. K největšímu ztenčení plechu dochází těsně nad zaoblením mezi dnem a stěnou. Stupeň deformace stěn výtažku vzrůstá ode dna směrem k jeho okraji. Při hlubokém tažení se použitím přidržovače zabráňuje k tvorbě vln. Tažná síla dosahuje maxima, pokud středy poloměrů zaoblení hran tažnice a tažníku jsou v jedné rovině. Jedná se o vliv úhlu opásání zaoblené hrany tažnice (Čada 2007, s. 161).

## 1.3 Zásady technologičnosti tažení plechů

Tyto zásady spolu s technologickými parametry tažení jsou důležité z toho důvodu, abychom se vyhnuli zbytečným komplikacím při počáteční úvaze procesu tažení výtažku, jako je tvorba vln při tažení nebo utržení dna výtažku.

Čada (2007, s. 183) uvádí následující zásady technologičnosti tažení, které jsou:

- A. **technologičnost materiálu** (volba materiálu musí splňovat dostačující technologické a funkční vlastnosti a zároveň být levný, tloušťka plechu zpravidla co nejmenší),
- B. **technologičnost tvaru a rozměrů**
  - a) vyhýbat se nesymetrickým a tvarově složitým výtažkům,
  - b) velké poloměry zaoblení (jinak nutná kalibrace),
  - c) výška výtažku co nejmenší (větší výška znamená zvýšení počtu tahů),
  - d) nenavrhovat příliš širokou přírubu (potřebuje více operací),
  - e) vyhýbat se ostrým rohům pro hranaté výtažky,
  - f) minimální možné přesnosti rozměrů (jinak nutná kalibrace),
  - g) minimální požadavky na kvalitu povrchu.

## 1.4 Technologické parametry pro tažení plechů

Tyto parametry zásadně ovlivňují samotný proces tažení plechů, a proto je třeba brát na vědomí. Všechny technologické parametry jsou zahrnuty v technologickém návrhu postupu výroby mísy procesem tažení plechu.

Čada (2007, s. 161–170) popisuje 10 následujících technologických parametrů:

- 1) **velikost a tvar přístřihu**,
- 2) **počet tažných operací a jejich odstupňování** – snaha vyrobit výtažek na co nejmenší počet tažných operací a stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu, jinak dochází k poškození výtažku,
- 3) **použití přidržovače** – přidržovač brání vzniku vln a nebezpečí je tím větší, čím je plech tenčí a součinitel odstupňování tahu nižší,
- 4) **velikost tažné mezery** – musí být taková, aby zesílený okraj výtažku prošel tažením zvětšený o výrobní toleranci plechu. Příliš velké mezera způsobuje zvlnění výtažku, naopak malá způsobí zvýšení tažné síly,
- 5) **tvár tažnice** – zaoblení tažné hrany ovlivní velikost napětí v materiálu, velikost tažné síly a případný vznik vad. Při dostatečně velkém poloměru zaoblení hrany tažnice se usnadní tažení a zvětší se hloubka i stupeň tažení na jednu operaci. Současně se zmenší plocha pod přidržovačem (zvětšení nepřidržované plochy přístřihu), tudíž vznikne riziko vrásek a přeložek – tzv. *sekundární zvlnění*,
- 6) **tvár tažníku** – přechodové poloměry tažníku jsou stejné nebo větší než zaoblení tažné hrany tažnice a zároveň povrch tažníku má být hladký. Tažník musí mít uvnitř vrtání, které slouží k odvodu vzduchu,
- 7) **tažná síla** – vychází k předpokladu, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než napětí na mezi pevnosti a největší síla musí být menší než síla potřebná k utržení dna,
- 8) **rychlost tažení** – rychlost tažení ovlivňuje třecí poměry, tedy vyšší rychlosti tažení zhoršují dovolený stupeň tažení, ale nízké rychlosti nemají v podstatě žádný vliv na tažení,
- 9) **drsnost povrchu a funkční části nástroje** – drsnost ovlivňuje podmínky tažení, tedy i tažnou sílu. Zdrsněním čela a boků tažnice, případně provedením pouze mazání ze strany tažnice, lze zvýšit mezní přenášenou sílu tažníku, zmenšit ztenčení plechu v nebezpečném místě,
- 10) **mazání při tažení** – přechováním materiálu v tvářené oblasti vzniká nový povrch, který je drsnější než původní (součinitel smykového tření  $\mu = 0,1$  až  $0,15$ ). Mazání přináší úsporu energie o 20 až 30 % a má zabránit zadírání plechu na styčných plochách nástroje.



## **2 Simulace tvářecí procesů s využitím specializovaných softwarů**

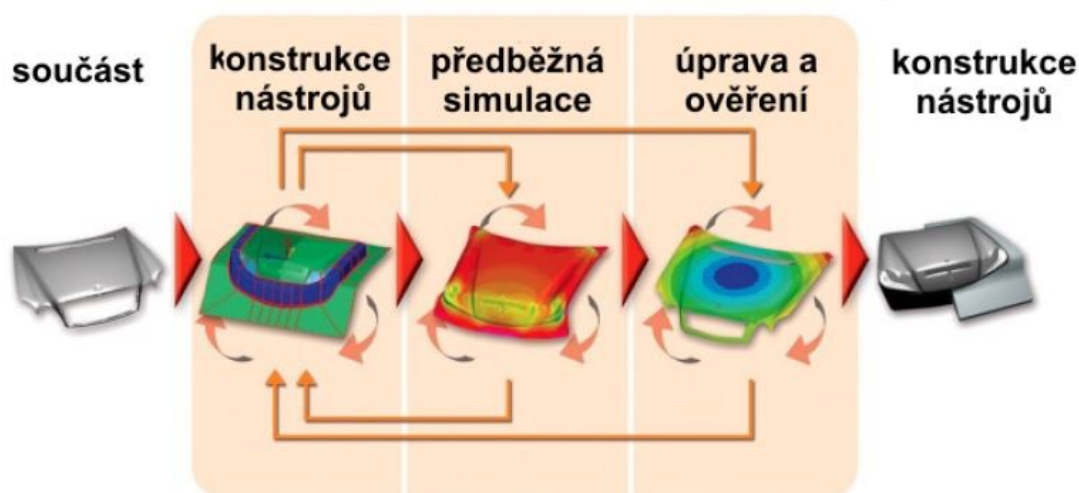
V dnešní době se pro technologický návrh postupu výroby výtažku z plechu často využívají speciální simulační programy. Tyto programy se využívají nejen pro simulaci tvářecích procesů za studena, ale i za tepla. Jejich velkou výhodou je, že pomocí snadné uživatelské obsluhy se získávají přesné výsledky z celého procesu tváření. Výsledky slouží k celkové analýze tvářecích procesů a jejich vyhodnocení umožňuje předejít problému s danou technologií již ve fázi technologického návrhu postupu výroby. Snadnou úpravou technologických nebo konstrukčních parametrů se tvářecí proces (za studena nebo za tepla) projeví okamžitě díky vzájemné propojenosti. V současnosti se využívají k simulaci tvářecích procesů softwary jako: Forge, Coldform nebo také PAM-STAMP. Na Katedře mechanické technologie Fakulty strojní VŠB – TU Ostrava je v současné době dostupná licence softwaru PAM-STAMP. Díky tomuto speciálnímu softwaru byl simulován proces plošného tváření výtažku mísy, která je předmětem této bakalářské práce. V následující kapitole je popsán obecný popis filozofie a možnosti softwaru PAM-STAMP.

### **2.1 Tvářecí procesy simulované softwarem PAM-STAMP**

PAM-STAMP je software, který využívá metodu konečných prvků a řeší problematiku založenou na filozofii přenosu informací o změnách fyzikálních vlastností mezi jednotlivými moduly numerické simulace technologických procesů až po simulaci samotného výrobku. Je založen na stavebnicovém principu, kdy jednotlivé moduly pracují samostatně a mohou se libovolně rozšiřovat a přenášet mezi sebou jednotlivé informace. Metoda konečných prvků (MKP) je pokládána v současnosti za nejvýkonnější metodu matematického modelování v tvářecích procesech. Její hlavní předností je, že může být použita k analýze pro řadu úloh bez omezení, která by mohla vyplývat z geometrie tvářených součástí. PAM-STAMP používá soustavu rovnic z teorie plasticity (rovnice rovnováhy sil, rovnice kontinuity toku a konstituční rovnice. Metoda konečných prvků (anglicky: Finite Element Method – FEM) je tedy numerická metoda pro analýzu těles a struktur. Pomocí MKP lze řešit spoustu fyzikálních aplikací: statiku, dynamiku, akustiku, teplo, elektromagnetické pole, elektrostatiku, atd. Základním principem MKP je rozdělení tělesa na malé části (prvky), které jsou matematicky snadno popsatelné (Frodlová a kolektiv 2012, s. 10).

Tvarová složitost dílu a materiály z některých řad vyžadují dostatečnou přesnost a rychlost numerické simulace. Daná součást je popsána v prostoru trojúhelníkovými nebo čtyřúhelníkovými skořepinovými prvky. K ověření lisovatelnosti se využívá buď rychlých jednokrokových, vícekrokových nebo inverzních řešičů, které řeší výpočty energetických pohybových rovnic implicitní numerickou metodou tzv. PAM QuickStamp Direct a Inverse. K získání výsledků řešení je potřeba několik minut s ohledem na složitost úlohy. Precizní realistické řešení poskytují řešiče, které využívají explicitní numerickou metodu pro řešení energetických pohybových rovnic (PAM-STAMP). Výsledky této metody lze získat v řádech hodinách. Avšak zadáním okrajových podmínek, zjemňováním sítě nebo nastavením výkonných algoritmů pro generování adaptivního přístřihu se doba výpočtu může zkrátit na několik minut. U explicitní numerické metody platí vztah, že čím menší je nejmenší element sítě, tím probíhá výpočet s menším časovým krokem, což je podmínkou stability řešení a tím se prodlužuje doba výpočtu. PAM-STAMP je tedy specializovaný software plošného tváření technologiemi hlubokého tažení, ohýbání, lisování do pryže (flexforming), hydroformingu plechů i trubek, atd. CAD modely jsou převedeny generátorem ve výpočtovou síť CAE modelu. Výpočtová síť přístřihu plechu je generována v prostředí programu PAM-STAMP s potřebnými okrajovými, kontaktními a zatěžujícími podmínkami řešení. Při řešení je plně uvažováno s nelineární deformační historií přístřihu. Materiálové chování je založeno na Hillově formulaci podmínky plasticity se směrovou závislostí anizotropie plechu (Frodlová a kolektiv 2012, s. 11).

Software umožňuje zahrnutí historie deformací, a to kritéria porušování soudružnosti plechu v průběhu tažení (lokální překročení mezní plastické deformace, ztenčení, překročení křivky mezních deformací) s přímou vizualizací zvlnění přístřihu v průběhu tažení. Pro tažení velkých přístřihů se zpravidla začíná s výpočtem deformace vlastní tíhou přístřihu. Výsledky z prvního tahu se automaticky přenášejí do dalších tahů a zohlední se míra ztenčení plechu i deformačně napěťové stavy výlisku (Frodlová a kolektiv 2012, s. 12).



Obrázek 2.1 – Postup simulace v softwaru PAM-STAMP 2G <sup>4</sup>

### 3 Korozivzdorné oceli a jejich vliv na tvářecí procesy

Korozivzdorné oceli tvoří v současné době velkou možnost použití ve strojírenství a dalších oborech. Díky svým vlastnostem mají také široké využití v oblasti plošného tváření za studena. V následující kapitole jsou popsány austenitické oceli Cr-Ni a Cr-Ni-Mo a jejich důležité legující prvky, které mají vliv na tvářecí procesy. Dále je uvedeno chemické složení těchto důležitých legujících prvků pro vybrané austenitické oceli podle normy ČSN EN 10088-2. Důležitými parametry pro výběr nejvhodnějšího materiálu jsou také mechanické vlastnosti a jakost povrchu plechu podle normy ČSN EN 10088-2.

Shigley (2010, s. 106) uvádí, že pokud se jedná o slitiny železa, které obsahují více, než 12 % chromu, se obecně nazývají korozivzdorné oceli. Nejvýznamnější vlastností těchto ocelí je jejich odolnost k mnohým, ale ne všem, korozním prostředím.

Existují čtyři obecné typy korozivzdorných ocelí:

- 1) feritické chromové oceli,
- 2) austenitické chrom-niklové oceli,
- 3) martenzitické oceli,
- 4) precipitačně vytvrditelné nerezové oceli.

#### 3.1 Austenitické oceli Cr-Ni a Cr-Ni-Mo

Zvýšení obsah Ni rozšiřuje oblast stability austenitu. V kombinaci s Cr, který působí zase opačně ve struktuře ocelí, stabilizuje ferit, závisí výsledná struktura oceli na vzájemném

poměru obsahu Cr a Ni. V jisté oblasti kombinace obsahů obou prvků má ocel strukturu austenitickou. Austenitické chromniklové oceli nejsou feromagnetické a vyznačují se ve srovnání s dalšími oceli velmi dobrou plasticitou. Mají vysokou hodnotu tažnosti a vrubové houževnatosti s velmi nízkým poměrem meze kluzu a pevnosti. Nelze je zušlechťovat, protože při ohřevu a ochlazování nedochází k překrystalizaci, ale jsou však schopny značného zpevnění tvářením za studena. Austenitické chromniklové oceli se používají na výrobu součástí zařízení chemického, potravinářského a farmaceutického průmyslu. Odolávají působení i silných anorganických kyselin, ale pouze ve slabých koncentracích. U Cr-Ni-Mo oceli je oblast použití rozšířena na aplikace, které odolávají kyselině siřičité, octové a zředěné kyselině sírové (Strnadel 2007, s. 130).

### **3.2 Legující prvky austenitických ocelí a jejich vliv na tvářecí procesy**

Michna a Náprstková (2012, s. 34) se domnívají, že zvláště významný vliv prvků na tvářitelnost je u korozivzdorných ocelí, které jsou legované Cr, Ni, Mo, Mn, atd. Vliv prvků z hlediska jejich vlivu na výslednou strukturu je možné rozdělit na dvě základní skupiny, a to prvky austenitotvorné a feritotvorné. Pro tváření je snahou se dostat do oblasti austenitu. Ačkoliv ferit má lepší plasticitu, je zde při překročení 0,4 až 0,6 teploty tavení tvářeného materiálu nebezpečí křehnutí. Proto je zapotřebí se vyhnout oblastem s výskytem martenzitu ve struktuře oceli.

Jednotlivé prvky se tedy rozdělují následovně:

- A. feritotvorné (Al, Si, Cr, Ti, P, Nb, atd.),
- B. austenitotvorné (C, N, Ni, Mn, Co, atd.).

Následně jsou popsány všechny důležité legující prvky mající vliv na tvářecí proces, a to zvláště za studena.

#### **3.2.1 Chrom (Cr)**

Výskyt chromu v oceli vede ke vzniku různých karbidů, které jsou velice tvrdé. Ocel, která je legovaná chromem, je mnohem tvárnější než ocel o stejné tvrdosti, jejíž nárůst tvrdosti je vyvolán pouze zvýšením obsahu uhlíku. Další vlastností chromu je to, že zjemňuje zrna, a proto kombinace těchto dvou efektů vede k výslednému zvýšení houževnatosti i tvrdosti. Díky chromu roste interval kritických teplot a eutektický bod se posouvá doleva. Celkově je chrom velmi užitečným legujícím prvkem (Shigley 2010, s. 105).

### **3.2.2 Nikl (Ni)**

Nikl v ocelích také vyvolává posun eutektického bodu doleva a dochází k růstu intervalu kritických teplot. Nikl je rozpustný ve feritu a nevytváří oxidy nebo karbidy, vyvolá růst pevnosti bez poklesu tažnosti. Nikl je často použit v kombinaci s chromem, protože zajistí dostatečnou houževnatost a tažnost, ale také zvýšení tvrdosti a odolnosti vůči opotřebení (Shigley 2010, s. 105).

### **3.2.3 Mangan (Mn)**

Mangan se přidává do ocelí jako dezoxidační (odkysličovací) a odsiřovací činidlo. Je-li obsah škodlivé síry nízký a obsah manganu je větší než jedno procento, pak se ocel klasifikuje jako legovaná manganem. Je rozpustný ve feritu a vytváří karbidy. Posouvá eutektický bod doleva a zároveň snižuje interval kritických teplot. Mangan způsobuje nárůst doby potřebné k fázové transformaci a díky tomu usnadňuje kalení do olejové lázně (Shigley 2010, s. 105).

### **3.2.4 Křemík (Si)**

Křemík se přidává do oceli vždy jako dezoxidační činidlo podobně jako mangan. Pokud je přidán do oceli s nízkým obsahem uhlíku, pak vznikne křehký materiál s nízkými hysterezními ztrátami a s poměrně vysokou magnetickou permeabilitou. V praxi se křemík používá k legování většinou v kombinaci s jinými prvky jako je mangan, chrom a vanad. Křemík má vliv na stabilizaci karbidů (Shigley 2010, s. 106).

### **3.2.5 Molybden (Mo)**

Molybden se jako samostatný legující prvek používá jen v několika málo ocelích. Nejčastěji se používá v kombinaci s niklem nebo chromem, nebo případně s oběma prvky současně. Molybden tvoří karbidy a také se v určitém množství rozpouští ve feritu, tím se zvyšuje tvrdost a houževnatost. Molybden, stejně jako chrom nebo nikl, zvětšuje interval kritických teplot. S výjimkou uhlíku má molybden největší vliv na tvrdost a dále také přispívá ke zjemňování zrna. Molybden má tedy velký vliv na dostatečnou houževnatost ocelí (Shigley 2010, s. 106).

### 3.3 Austenitické oceli (1.4301, 1.4306/1.4307 a 1.4401)

V následující kapitole jsou popsány vybrané austenitické oceli, které jsou díky své ceně a dostupnosti brány na vědomí jako materiálové možnosti pro technologický návrh postupu výroby mísy procesem tažení plechu. Ve výtažku mísy se připravují směsi betonu pro následné zkoušky, kde beton je materiál skládající se z pojiva, plniva, přísad, příměsí a vody. Jedná se tedy o korozní prostředí, které má vliv na konečný výběr materiálu. Pro výběr nejvhodnějšího materiálu pro technologický návrh postupu výroby mísy procesem tažení plechu bude nejdůležitější dostupnost, cena a odolnost vůči koroznímu prostředí.

**1.4301 (Cr-Ni)** – standardní materiál s vynikající odolností proti korozi v přirozeném prostředí jako je voda, městská a venkovská atmosféra. Tento materiál je bez potíží svařitelný a tepelná úprava po svaření není nutná. Používá se zejména v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Své uplatnění má také v pivovarském, tukovém, papírenském průmyslu a potrubních systémech. Používá se v chemickém průmyslu k výrobě zařízení pro sterilizaci produktů (kyselina dusičná, dusičnany, dusičná hnojiva nebo výbušné látky) (8, s. Z2).

**1.4306/1.4307 (Cr-Ni)** – dnes je tato ocel nahrazena 1.4307. Má podobnou odolnost vůči korozi jako 1.4301, a to i v chemickém průmyslu. Tento materiál je lépe svařitelný a tepelná úprava po svařování není nutná. Používá se ve všech případech jako 1.4301, dále tam, kde dochází k většímu namáhání teplem, např. u výroby tlakových nádob nebo zásobníků (8, s. Z2).

**1.4401 (Cr-Ni-Mo)** – mnohem lepší odolnost vůči korozi než u 1.4301, která je podobná 1.4571, ale bez stabilizace titanem. Příměs molybdeny způsobuje odolnost této oceli proti kyslíku a to dokonce i v oblasti svaru. Používá se k výrobě celulózy (pro vyhřívací nádoby, rozvody trubek a bělicí přístroje). Používá se také v chemickém průmyslu pro výrobu zařízení pro produkci všech druhů solných, organických a anorganických kyselin (8, s. Z2).

Důležitou normou pro technické dodací podmínky plechů a pásů z ocelí odolných korozi pro obecné použití je ČSN EN 10088-2:2015, kde je stanoveno chemické složení, jakosti povrchů plechů a mechanické vlastnosti, které jsou uvedeny níže v tabulkách pro materiály 1.4301, 1.4306/1.4307 a 1.4401.

### 3.3.1 Chemické složení podle ČSN EN 10088-2

Požadavky na chemické složení jsou v normě uvedeny v tabulkách 1 až 4 (9, s. 11).

Tab. 3.1 – Chemické složení (rozbor tavby) vybraných austenitických ocelí odolných korozi podle tabulky 1 z normy ČSN EN 10088-2:2015<sup>9</sup>

Číselné označení ocelí	hmotnostní %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N
1.4301	0,07	1,00	2,00	0,045	0,015	17,5 ÷ 19,5	–	8,0 ÷ 10,5	0,10
1.4307	0,03	1,00	2,00	0,045	0,015	17,5 ÷ 19,5	–	8,0 ÷ 10,5	0,10
1.4401	0,07	1,00	2,00	0,045	0,015	16,5 ÷ 18,5	2,00 ÷ 2,50	10,0 ÷ 13,0	0,10

### 3.3.2 Způsob provedení a jakost povrchu plechu podle ČSN EN 10088-2

Válcovacím přístupem vznikají nepatrné povrchové nedokonalosti, které jsou přípustné. Pokud by výrobky byly dodávány ve svitcích, může se očekávat, že stupeň a rozsah takových nedokonalostí bude větší, z důvodu nemožnosti odstranění krátkých úseků z daného svitku. Plechy dodávané ve stavu válcovaném za tepla nebo za studena musí být dodávány, pokud není dohodnuto jinak, pouze s jedním povrchem kontrolovaným podle provedení objednávky povrchu, nazývaným primární povrch (9, s. 12).

Tab. 3.2 – Způsob provedení a jakost povrchu plechu a pásu vybraných jakostí podle tabulky 6 z normy ČSN EN 10088-2:2015 <sup>9</sup>

	Symbol	Způsob provedení	Jakost povrchu
<b>Válcované za tepla</b>	1U	válcovaný za tepla, tepelně nezpracovaný, okujený	okujený po válcování
	1C	válcovaný za tepla, tepelně zpracovaný, okujený	okujený po válcování
	1E	válcovaný za tepla, tepelně zpracovaný, mechanicky zbavený okují	bez okují
	1D	válcovaný za tepla, tepelně zpracovaný, mořené	bez okují
<b>Válcované za studena</b>	2H	zpracováním zpevněný	lesklý
	2C	válcovaný za studena, tepelně zpracovaný, okujený	hladký s okujemi po TZ
	2E	válcovaný za studena, tepelně zpracovaný, mechanicky zbavený okují	bez okují
	2D	válcovaný za studena, tepelně zpracovaný, mořený	hladký
	2B	válcovaný za studena, tepelně zpracovaný, mořený, za studena doválcovaný	hladší než 2D

### 3.3.3 Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě podle ČSN EN 10088-2

Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě jsou uvedeny v normě ČSN EN 10088-2:2015 v tabulkách 7 až 11 a vyžadují příslušný předepsaný stav tepelného zpracování. To neplatí u způsobu provedení 1U (za tepla válcovaný, tepelně nezpracovaný, okujený). Pokud jsou plechy nebo pásy dodávány ve stavu tepelně nezpracovaném, pak mechanické vlastnosti z tabulek 7 až 11 jsou získávány z referenčních zkušebních těles, které mají již vhodné tepelné zpracování (9, s. 12).



Tab. 3.3 – Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě vybraných austenitických ocelí ve stavu po rozpouštěcím žihání podle tabulky 7 z normy ČSN EN 10088-2:2015 <sup>9</sup>

Číselné označení oceli	Tvar výrobku	Tloušťka	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_{p1,0}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$A_{80}$ (%) min.	$A$ (%) min.	KV <sub>2</sub> > 10 (mm)	
								(J) (podélné)	(J) (příčné)
1.4301	C	8	230	260	540 ÷ 750	45	45	–	–
	H	13,5	210	250	520 ÷ 720	45	45	100	60
	P	75	210	250	520 ÷ 720	45	45	100	60
1.4307	C	8	220	250	520 ÷ 700	45	45	–	–
	H	13,5	200	240	500 ÷ 700	45	45	100	100
	P	75	200	240	500 ÷ 700	45	45	100	100
1.4401	C	8	240	270	530 ÷ 680	40	40	–	–
	H	13,5	220	260	520 ÷ 670	45	45	100	60
	P	75	220	260	520 ÷ 670	45	45	100	60

Legenda – C = za studena válcovaný pás, H = za tepla válcovaný pás, P = za tepla válcovaný plech

## 4 Varianty sestrojení optimálního tvaru a velikosti přístřihu

Optimální tvar a velikost přístřihu má velký vliv nejen na konečné rozměry výtažku (vlivem plošné anizotropie plechů se rozměry hotového výtažku liší), ale i na nástřihový plán, který je taky součástí této bakalářské práce. V této bakalářské práci jsou uvedeny čtyři metody sestrojení optimálního tvaru a velikosti přístřihu, které jsou následně zvětšeny vzhledem k cípovitosti (vliv anizotropie plechu).

Velikost skutečného přístřihu  $D_{0skut}$  se podle normy ČSN 22 7301 zvětší o 3 % z průměru  $D_0$  pro první tah a o 1 % z průměru  $D_0$  pro každý další tah. Zvětšování se musí provádět kvůli nerovnostem okraje (cípovitosti), které je způsobeno nestejným tažením pláště výtažku (Čada a kolektiv 2012, s. 104).

Skutečný průměr přístřihu lze vypočítat podle vztahu:

$$D_{0skut} = D_0 \cdot [1 + 0,03 + (i - 1) \cdot 0,01] \quad (\text{mm}). \quad (4.1)$$

#### 4.1 Metoda založená na součtu vnitřních ploch válcového výtažku

Velikost a tvar optimálního rozměru přístřihu výtažku mísy se vypočte tak, že se sečtou dílčí plochy a následně se použije vztah pro výpočet rotačních výtažků jednoduchých tvarů (Čada a kolektiv 2012, s. 101).

$$D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \sum S} \quad (\text{mm}). \quad (4.2)$$

#### 4.2 Metoda založená na grafickém určení průměru přístřihu

Čada a kolektiv (2012, s. 103) uvádějí, že u rotačních výtažků složitějšího tvaru, které nelze rozložit na jednoduché rotační tvary se použije Guldinovy věty, která zní: „*Plocha rotačního tělesa, vytvořeného otáčením rovinné křivky délky  $l$  kolem osy rotace, se rovná součinu délky křivky a dráhy jejího těžiště při rotaci*“.

$$S = 2 \pi \cdot R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2). \quad (4.3)$$

Délka tvořící křivky a poloha jejího těžiště se určí buď graficky, nebo graficko-analyticky (Čada a kolektiv 2012, s. 104).

Podle Čady a kolektivu (2012, s. 104) je postup grafické metody proveden tak, že:

- nakreslí se tvořící křivka povrchu výtažku, následně se rozdělí na jednotlivé části  $L_i$  a následně se graficky u každé této části nalezne její těžiště. Z jednotlivých těžišť se vedou rovnoběžné čáry s osu  $x$ ,
- sestojí se složkový obrazec a to tak, že na svislou čáru se v daném pořadí nanasou jednotlivé délky úseček  $L_i$  a pak se ke koncovým bodům jednotlivých úseček vedou pólové paprsky z libovolného pólu  $A$ ,
- sestojí se vláknový mnohoúhelník pomocí přímk, které jsou rovnoběžné s pólovými paprsky 1, 2, 3, ...,  $n$ ,
- průsečík krajních pólových paprsků udává polohu těžiště  $T$  dané tvořící křivky a její velikost  $R_T$ ,
- průměr přístřihu je určen podle 2. Euklidovy věty  $\rightarrow R_0^2 = 2 \cdot R_T \cdot L \quad (\text{mm}^2)$ ,

kde je  $R_0$  – poloměr přístřihu. Tento poloměr se rovná délce kolmice, která je vztyčená z bodu  $B$  na úsečku  $L$ , do průsečíku s půlkružnicí o průměru  $L + 2 \cdot R_T$  (Obrázek 6.2).

Celé grafické sestrojení optimálního tvaru a velikosti přístřihu výtažku mísy je uveden níže v kapitole 6.6.2.

### **4.3 Metoda řezů**

Princip metody řezů spočívá v rozvinování povrchových křivek v jednotlivých řezech, které jsou vedeny konečným tvarem výtažku. Délky povrchových křivek se korigují s ohledem na předpokládané prodloužení vlivem tažení. Každá délka se koriguje hodnotou 0,8–0,9. Celkový rozměr velikosti přístřihu se zvětšuje o technologický přídavek na ostřížení, který se volí 2–20 mm dle velikosti výtažku a ostřihovacího zařízení. Pokud je výtažek s přírubou, připočítává se i její rozměr (Čada 2013, s. 10).

### **4.4 Metoda využívající trajektorii maximálních smykových napětí**

Princip této metody je založen na tom, že kolem obrysu v oblasti kontaktu tažníku s přístřihem na počátku tažení se sestrojí síť TMSN, do které se zakresluje obrysová křivka přístřihu, pokud je dodržena podmínka, aby se protínala se sítí TMSN a to pod úhlem  $\pm 45^\circ$  (Čada 2013, s. 10).

## **5 Důležité technologické parametry pro konstrukci tvářecích nástrojů**

V následující kapitole jsou rozebrány všechny podstatné technologické parametry, které ovlivňují následnou konstrukci tažných nástrojů (tažník, tažnice a přidržovač). Zaprvé je potřeba určit počet potřebných tažných operací. K dispozici je pouze tabulka mezních součinitelů odstupňování tahů pro hlubokotažné oceli nebo měkké mosazi, tato tabulka tedy může být zavádějící pro korozivzdorné oceli. Dále se určí, zda je potřeba použít přidržovač či nikoliv. Důležitým parametrem pro kontrolu lisu je přidržovací síla, která se koriguje v pozdější fázi na samotném výtažku mísy. Tažná mezera, zaoblení tažné hrany tažnice a zaoblení tažné hrany tažníku jsou dalšími parametry mající vliv na samotnou tažný proces. Poslední parametrem uvedeným v této kapitole je stanovení tažné síly lisu a celkové síly lisu, která se skládá z přidržovací, tažné a vyhazovací síly lisu.

## 5.1 Odstupňování tažných operací

Z hlediska návrhu technologie tažení je snaha vyrobit výtažek na co možná nejmenší počet tažných operací. Je nutné si dát pozor na zásadu, že deformace musí být v každé operaci velká, aby se plně využilo všech mechanických vlastností konkrétního materiálu, a to až na přípustnou mez. Stupeň deformace při jednom tahu nesmí překročit určitou maximální hodnotu. Při překročení této hodnoty dojde k poškození výtažku. Norma ČSN 22 7301 určuje nejmenší počet tahů tzv. *mezní součinitel odstupňování tahů*  $M$ . Součinitel odstupňování tahů závisí na mechanických vlastnostech daného materiálu, na členitosti povrchu výtažku a jeho rozměrech, na jeho výšce, na navrženém technologickém postupu, na poměrné tloušťce přístřihu  $s/D_0$  a mnoha dalších parametrech (Čada a kolektiv 2012, s. 105–107).

Součinitel odstupňování tahů:

$$M_1 = \frac{d_1}{D_0}; M_2 = \frac{d_2}{d_1}; \dots \quad (-). \quad (5.1)$$

Celkový součinitel odstupňování tahů:

$$M_C = \frac{d_n}{D_0} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \quad (-). \quad (5.2)$$

Poměrná tloušťka přístřihu:

$$100 \cdot \frac{s}{D_0} \quad (-). \quad (5.3)$$

Největší poměrná hloubka výtažku:

$$h/D_0 \quad (-). \quad (5.4)$$

Táhnou-li se méně tvárné materiály, je třeba brát součinitel tažení větší a naopak pokud se tváří materiály tvárnější, je třeba použít součinitele menší, než jsou uvedeny v Tabulce 5.1 (Čada a kolektiv 2012, s. 107).

Tab. 5.1 – Mezní součinitelé odstupňování tah  $M$  a poměrné hloubky  $h/D_0$  při tažení válcových výtažků bez příruby z hlubokotažné oceli nebo měkké mosazi<sup>3</sup>

Výtažky bez příruby	Poměrná tloušťka přístřihu $100 \cdot s/D_0$					
	1,50 ÷ 2,00	1,00 ÷ 1,50	0,60 ÷ 1,00	0,30 ÷ 0,60	0,15 ÷ 0,30	0,08 ÷ 0,15
Součinitel	Mezní součinitelé odstupňování tahu $M$ pro první až pátý tah					
$M_1$	0,48 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,53	0,53 ÷ 0,55	0,55 ÷ 0,58	0,58 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,63
$M_2$	0,73 ÷ 0,75	0,75 ÷ 0,76	0,76 ÷ 0,78	0,78 ÷ 0,79	0,79 ÷ 0,80	0,80 ÷ 0,82
$M_3$	0,76 ÷ 0,78	0,78 ÷ 0,79	0,79 ÷ 0,80	0,80 ÷ 0,81	0,81 ÷ 0,82	0,82 ÷ 0,84
$M_4$	0,78 ÷ 0,80	0,80 ÷ 0,81	0,81 ÷ 0,82	0,82 ÷ 0,83	0,83 ÷ 0,85	0,85 ÷ 0,86
$M_5$	0,80 ÷ 0,82	0,82 ÷ 0,84	0,84 ÷ 0,85	0,85 ÷ 0,86	0,86 ÷ 0,87	0,87 ÷ 0,88
Číslo tahu	Největší poměrná hloubka výtažku $h/D_0$ pro první až pátý tah					
1	0,77 ÷ 0,94	0,65 ÷ 0,84	0,57 ÷ 0,70	0,50 ÷ 0,62	0,45 ÷ 0,52	0,38 ÷ 0,46
2	1,54 ÷ 1,88	1,32 ÷ 1,60	1,10 ÷ 1,36	0,94 ÷ 1,13	0,83 ÷ 0,96	0,70 ÷ 0,90
3	2,70 ÷ 3,50	2,20 ÷ 2,80	1,80 ÷ 2,30	1,50 ÷ 1,90	1,30 ÷ 1,60	1,10 ÷ 1,30
4	4,30 ÷ 5,50	3,50 ÷ 4,30	2,90 ÷ 3,60	2,40 ÷ 2,90	2,00 ÷ 2,40	1,50 ÷ 2,00
5	6,60 ÷ 8,90	5,10 ÷ 6,60	4,10 ÷ 5,20	3,30 ÷ 4,10	2,70 ÷ 3,30	2,00 ÷ 2,70

## 5.2 Rozhodnutí o nutnosti použití přidržovače při tažení

Čada a kolektiv (2012, s. 108–109) upozorňují na nutnost rozhodnutí, jestli táhnout bez přidržovače nebo s ním. To má vliv na koncepci, cenu a složitost tažidla a na samotný výběr tažného lisu. Při tomto rozhodnutí se vychází z empirických vztahů ověřených praxí.

Norma ČSN 22 7301 určuje použití přidržovače v následujících případech:

a)  $s < 0,5$  mm (při tažení hlubokotažného plechu),

b) pro první tah za podmínky:

$$\alpha \geq \frac{100 \cdot d_1}{D_{0\text{skut}}} \quad (-), \quad (5.5)$$

kde, součinitel  $\alpha$  se vypočte podle vztahu:

$$\alpha = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_{0\text{skut}}}} \right) \quad (-), \quad (5.6)$$

kde, materiálová konstanta  $z$  má hodnotu 1,90 pro hlubokotažné ocelové plechy, pro mosazný plech 1,95 a pro zinkový a hliníkový plech hodnotu 2,00.

c) v dalších tazích, pokud je součinitel odstupňování  $M$  menší než 0,9.

Přidržovač slouží k zabránění vzniku přeložek a zvrásnění při tažení tím, že svou funkční plochou přitlačuje plech k tažnici. Pokud při tažení vznikly tzv. *prvotní vlny*, které vytvoří přeložky, materiál by neprošel tažnou mezerou, což by vedlo k následnému zadření nástroje nebo k utržení dna výtažku. Čím tenčí plech je k dispozici, tím je nebezpečí vzniku vln větší a součinitel odstupňování tahu nižší. Tažení tenkých plechů bez přidržovače je možné, pokud vytváříme mělké výtažky s poměrně velkým součinitelem tažení. Při tažení tlustostěnných výtažků není již zpravidla potřeba přidržovače. Stabilita příruby proti zborcení následkem tangenciálního pětchování je dostatečně velká, proto není zde nutnost použití přidržovače (Čada a kolektiv 2012, s. 109).

## 5.3 Stanovení tlaku a síly přidržovače

Potřebný tlak v přidržovači závisí na pevnosti taženého materiálu a jeho tloušťce. Tlak, který je stanovený praxí, by měl být v rozsahu 1–3 MPa. Čím je tloušťka plechu větší, tím menší může být přitlačná síla (Čada a kolektiv 2012, s. 110).

Potřebný měrný tlak přidržovače v i-tém tahu:

$$p_i = (0,002 \div 0,003) \cdot \left[ \left( \frac{1}{M_1} - 1 \right)^3 + 0,5 \cdot \frac{d_i}{100 \cdot s} \right] \cdot R_m \quad (\text{MPa}). \quad (5.7)$$

Účinná plocha přidržovače v prvním tahu:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_{0\text{skut}}^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d_1 + 2s + 2r_{t1})^2}{4} \quad (\text{mm}^2). \quad (5.8)$$

Přidržovací síla v i-tém tahu:

$$F_{pi} = S_i \cdot p_i \quad (\text{N}). \quad (5.9)$$

## 5.4 Stanovení optimální tažné mezery v jednotlivých operacích

Tažná mezera  $t_m$  by měla být taková, aby jí prošel zesílený okraj výtažku, který je zhotovený ze žádané tloušťky a zvětšený o výrobní toleranci daného plechu. Příliš velká tažná mezera způsobí zvlnění a menší tažná mezera způsobí zvětšení tažné síly (Čada a kolektiv 2012, s. 114–115).

Tažná mezera pro první tah:

$$t_{m1} = (1,2 \div 1,3) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.10)$$

Tažná mezera pro poslední tah:

$$t_{mn} = (1,1 \div 1,2) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.11)$$

Tažná mezera pro tah, kde se provede kalibrace:

$$t_{mk} = (1,0 \div 1,1) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.12)$$

## 5.5 Stanovení poloměrů zaoblení tažné hrany tažnice

Velikost zaoblení tažné hrany tažnice ovlivňuje velikost napětí v taženém materiálu, vznik vad při tažení a velikost tažné síly. Hlavními parametry jsou tvar, optimální poloměr a kvalita tažné hrany tažnice. Při tažení třecí síly na tažné hraně tažnice dosahují vysokých hodnot. Pokud se zvětší poloměr zaoblení tažné hrany tažnice, usnadní se proces tažení a může se zvětšit hloubka výtažku i stupeň tažení na jednu tažnou operaci. Současně se však zmenší plocha pod přidržovačem a tím se zvětší nepřidržovaná plocha. To způsobí vznik vrásek a přeložek (Čada a kolektiv 2012, s. 115).

Doporučená hodnota zaoblení tažné hrany tažnice pro první tah:

$$r_{t1} = (8 \div 10) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.13)$$

Doporučená hodnota zaoblení tažné hrany tažnice pro druhý a další tahy:

$$r_{tn} = (6 \div 8) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.14)$$

## 5.6 Stanovení zaoblení tažné hrany tažníku

Poloměry zaoblení tažných hran tažníku jsou stejné nebo větší než u zaoblení tažné hrany tažnice. Pokud je zaoblení tažných hran tažníku příliš velké, vzniká nebezpečí vytvoření tzv. *druhotných vln*, které znehodnocují vzhled výtažku (Čada a kolektiv 2012, s. 117).

Poloměr zaoblení tažné hrany tažníku pro průměr 10 až 100 mm:

$$r_p = (3 \div 4) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.15)$$

Poloměr zaoblení tažné hrany tažníku pro průměr 100 až 200 mm:

$$r_p = (4 \div 5) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.16)$$

Poloměr zaoblení tažné hrany tažníku pro průměr 200 mm a výše:

$$r_p = (5 \div 7) \cdot s \quad (\text{mm}). \quad (5.17)$$

## 5.7 Stanovení tažné a celkové síly lisu

Tažnou sílu lze vypočítat z jednoduchých vztahů, které vycházejí z meze pevnosti daného materiálu a experimentálně zjištěným opravným silovým součinitelem. Dovolená napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než napětí na mezi pevnosti a zároveň největší síla musí být menší než síla potřebná k utržení dna výtažku (Čada a kolektiv 2012, s. 121–122).

Tažná síla pro první tah:

$$F_{t1} = \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot k_1 \cdot R_m \quad (\text{N}). \quad (5.18)$$

Tažná síla v i-tém tahu:

$$F_{ti} = \pi \cdot d_i \cdot s \cdot k_i \cdot R_m \quad (\text{N}). \quad (5.19)$$

Podle tabulky 5.2 se vyčte hodnota opravného silového součinitele pro první tah.

Tab. 5.2 – Hodnoty opravných silových součinitelů pro první tah  $k_1 (-)^3$

$M_1 (-)$	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,75	0,80
$k_1 (-)$	1,14	1,08	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,40

Podle tabulky 5.3 se vyčte hodnota opravného silového součinitele pro druhý a další tahy.

Tab. 5.3 – Hodnoty opravných silových součinitelů pro druhý tah a další tahy  $k_i (-)^3$

$M_i (-)$	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85	0,90	0,95
$k_i (-)$	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50

Celková tažná síla lisu:

$$F_{Ci} = F_{ti} + F_{pi} + F_{vi} \quad (N), \quad (5.20)$$

kde  $F_{vi}$  je vyhazovací síla v i-tém tahu, která se často zanedbává.

## **6 Technologický návrh postupu výroby výtažku mísy procesem tažení plechu**

Cílem této části je vytvořit z předcházejících kapitol celkový technologický návrh postupu výroby výtažku mísy procesem tažením plechu. Celý proces technologického návrhu postupu výroby výtažku mísy začíná zamyšlením, jestli proces tažení plechu lze nahradit jinou možnou technologií, která by byla srovnatelná nebo i výhodnější než proces tažení plechu (rozhoduje vyrobiteľnosť, opakovateľnosť, atď.). Dále je bráno v úvahu niekoľko druhů austenitických ocelí, ktoré jsou porovnány mezi sebou s ohledem na cenu, dostupnost a korozní odolnost. Výtažek mísy je posouzen pomocí zásad technologičnosti výroby, aby nevznikaly zmetky již během předběžného procesu výroby. Základním parametrem je výchozí polotovár neboli přístřih, který je vytvořen několika metodami, vzájemně porovnán a uznán nejvhodnějším pro následnou simulaci procesu tažení plechu v softwaru PAM-STAMP. Pro vstupní hodnoty simulace jsou spočteny důležité technologické parametry (poloměr zaoblení tažné hrany tažnice, přidržovací a tažná síla lisu, atď.). Na konci této kapitoly je provedena samotná simulace procesu tažení plechu speciálním softwarem PAM-STAMP. Výsledky jednotlivých materiálů jsou vzájemně porovnávány s ohledem na míru ztenčení plechu a rozložení napětí po procesu tažení a také jsou porovnávány diagramy mezních deformací jednotlivých materiálů.

Reálný výtažek mísy byl tažen ve firmě TPL, s. r. o., Brno (dále jen „TPL“). Firma TPL poskytla zákaznickou specifikaci, která jim byla poskytnuta koncovým zákazníkem.

Zákaznická specifikace výroby mísy je následující:

- a) nerezavějící materiál (rozhoduje cena a dostupnost),
- b) rozměrové parametry, které jsou dány výkresem sestavy mísy (viz „Příloha A“),
- c) minimální výrobní předpoklad (100 kusů/10 let),
- d) dno výtažku musí být vypouklé (usazování betonu u kraje v případě rovného dna).



Tyto specifikace posloužily pro následné vyhotovení celého technologického návrhu postupu výroby mísy procesem tažení plechu. Níže je krátce představena firma TPL a popsána sestava mísy (viz „Příloha A“).

## **6.1 Představení firmy TPL, s. r. o.**

Firma TPL byla založena v roce 1991 se sídlem v Brně a specializuje se na dodávky nástrojů pro tváření plechů. Zakladatelé firmy dříve pracovali jako specialisté v oboru technologie plošného tváření ve Výzkumném ústavu tvářecích strojů a technologie tváření v Brně a tudíž jejich zkušenosti v oboru jsou obrovské. Firma má podíl na větších technologických projektech pro automobilky různých značek. Zaměřuje se na kvalitu návrhu technologie a geometrii nástrojů, které se optimalizují již v podobě elektronických modelů. Materiál je poskytnut z oficiálních webových stránek firmy TPL (11).

## **6.2 Popis sestavy mísy**

Sestava mísy slouží jako těleso nádoby, ve které se připravují směsi betonu pro následné zkoušky, kde beton je míchán metlami, které konají planetární pohyb. Sestava mísy má dvě ucha pro snadnou manipulaci, které jsou svařeny stejně jako uchycení mísy až u zákazníka. Další specifikace ohledně výroby sestavy mísy byly již uvedeny v úvodu této kapitoly.

## **6.3 Možné varianty výroby mísy jinými technologiemi a následné zhodnocení**

Jedná se o myšlenkovou úvahu a porovnání možných výrobních technologií s procesem tažení plechu. Nejprve je uveden obecný popis procesu tažení, alternativních technologií a obecný výčet jednotlivých výhod a nevýhod. Následně jsou uvedeny konkrétní výhody a nevýhody všech zmíněných technologií na sestavu mísy (viz „Příloha A“). V závěru je vybrána nejvhodnější výrobní technologie.

### **6.3.1 Výroba mísy procesem tažení plechu**

V kapitole 1 je uveden stručný popis technologie tažení za studena i s jejími výhodami. K nevýhodám patří poměrně vysoká cena strojů (nástrojů) pro malosériovou výrobu a rozměrová omezenost tažení hotového výtazku.

### 6.3.2 Výroba mísy svařováním

Svařováním vznikají působením tepla (respektive tlaku) a za použití přídavného materiálu obdobného složení jako má základní materiál nerozebíratelná spojení strojních součástí i celých konstrukcí ze součástí jednoduchých tvarů (většinou z tvářených hutních polotovarů). Obecné výhody a nevýhody svařování jsou uvedeny níže.

Výhody svařování:

- pevnost, trvanlivost a těsnost spojení,
- úspora materiálu s porovnáním s licími technologiemi až o 50 %,
- rychlá realizace konstrukčních návrhů.

Nevýhody svařování:

- nerozebíratelnost spojení,
- změna struktury a tím i mechanických vlastností,
- vznik pnutí tudíž následná tepelná úprava,
- kvalifikace svářečů.

Mísa vyrobená svařováním se skládá z dostupných skladových dílů (nízko klenuté dno, svařovaná trubka a plech). Mísa vyrobená svařováním je z 2 mm tloušťky místo 1 mm, a to z důvodu lepšího vytvoření svarového spoje (při 1 mm dochází k propalování, což je nežádoucí a nevyrobitelné). Schéma technologie svařování (viz „Příloha B“).

### 6.3.3 Výroba mísy postupným kovotlačením

Jedná se o tradiční technologický postup tvarování plechů, který je využíván pro výrobu dutých rotačních těles v malokusových sériích. Tato metoda umožňuje provádět obrubování, lemování, rozšiřování atd. Tlačením se ovlivňuje tloušťka stěny výtlačků. Tato technologie je vhodná pro tvarování tenkých plechů (nerez, Al, Cu apod.). Informace dostupné z oficiálních webových stránek firmy Meva Group (12).

Podle článku Technologie tváření kovů z webové stránky Technické univerzity Liberec se rotační model nádoby upevní na stroj (soustruh pro kovotlačení) i s přístřihem. Velikost přístřihu je o něco větší, než je průměr základny modelu – rozdíl od hlubokého tažení. Model s přístřihem je uveden do rotace a přístřih se přitlačuje zvláštními nástroji k modelu. Nástroje jsou opatřeny buď třecími, nebo valivými zakončeními. Níže jsou vyjmenovány obecné výhody a nevýhody postupného kovotlačení (13, kap. 10).

Výhody postupného kovotlačení:

- nahrazuje proces tažení, kde je příliš mnoho operací,
- ekonomicky výhodný (nízké náklady na nástroj – tvárnice).

Nevýhody postupného kovotlačení:

- špatná kvalita povrchu bez kalibrace,
- pouze rotační výlisky.

Tyto výhody a nevýhody se týkají postupného kovotlačení, kdy se tedy postupně přístřih přitlačuje ke kovové formě – tvárnici. Další uvažovanou technologií může být kovotlačení pomocí sady tvárníc, ale z hlediska pořizovací ceny sady tvárníc a minimální výrobní dávce se dále tato technologie výroby neuvažuje. Schéma technologie postupného kovotlačení (viz „Příloha B“). Kovová forma – tzv. tvárnice je vyrobena tak, aby se tvarem co nejvíce přibližovala tvaru mísy. Kovová forma je zkosená a má naznačené odvzdušnění, aby bylo možno po dokončení tváření následně vyjmout výtlaček z kovové formy.

#### **6.3.4 Vyhodnocení nejvhodnější technologie pro sestavu mísy**

Pro vyhodnocení nejvhodnější technologie výroby mísy byly posuzovány technologie svařování, technologie postupného kovotlačení a technologie tažení plechu. Svařováním mísy se rychle a bezproblémově (u snadno svařitelné oceli) realizuje konstrukční návrh, je ale potřeba kvalifikace svářečského personálu a také tepelné úpravy po svařování, protože po svařování vzniká vnitřní pnutí. Hlavním problémem je to, že nelze z dostupných skladových dílů vyrobit vypouklé dno, které je důležité pro míchání betonové směsi, aby nedocházelo k usazování a následnému zatvrdnutí této směsi. Nízce klenuté dno sice nemá rovné dno, ale usazování by vznikalo uprostřed dna, protože míchací metli konají pouze planetární pohyb.

Technologie postupného kovotlačení je výhodnější než svařování, jelikož má nižší náklady pro větší série (jedna odladěná kovová forma) a proces je rychlejší (každý kus mísy vyrobený svařováním musí být následně upravován). Nevýhodou je, že oproti procesu tažení plechu se tloušťka přístřihu výrazněji ztenčuje a přístřih musí být o něco větší, což má při případné větší sérii vliv na celkovou spotřebu pásů plechu. Hlavní problémem, oproti procesu tažení plechu, je opět vyrobitelnost vypouklého dna. To by bylo možné vyrobit další technologickou operací zpětného tlačení nástrojem s tvarem vypuklého dna. Zádrhel by nastal s ustavením výtlačku (nutnost přípravku, tedy větší náklady) a taktéž dodržení konečných

rozměrů (celý výtlaček by po následné technologické operaci mohl uhnout do strany → nebezpečí větší zmetkovitosti).

Ze jmenovaných poznatků plyne, že nejvhodnější technologií výroby mísy je proces tažení plechu. Hlavními důvody je snadná vyrobiteľnost vypouklého dna, po odladění se jedná o jednoduchou technologii (snadná obsluha) a opakovatelnost výroby (nejmenší nebezpečí zmetkovitosti oproti ostatním technologiím).

## **6.4 Volba nejvhodnější austenitické oceli**

V kapitole 3 jsou rozebrány korozivzdorné oceli a jejich vliv na tváření. Popsány jsou zejména oceli Cr-Ni (chrom-niklové) a Cr-Ni-Mo (chrom-nikl-molybdenové), které patří do společné skupiny korozivzdorných austenitických ocelí.

Z hlediska dostupnosti a ceny byly uvažovány následující materiály:

- a) 1.4301 (Cr-Ni),
- b) 1.4306/1.4307 (Cr-Ni),
- c) 1.4401 (Cr-Ni-Mo).

Hlavními parametry výběru byly nejen cena a dostupnost austenitických ocelí, ale také jejich korozní odolnost (hlavně vůči vodě a atmosféře). Beton obsahující příměsi, přísady a vodu má vliv na později vznikající korozi, která by se neměla objevovat v průběhu používání.

Chemické složení, mechanické vlastnosti a jakost povrchu plechu pro výše zmíněné austenitické oceli podle normy ČSN EN 10088-2:2015 má také vliv na volbu nejvhodnějšího materiálu, jelikož je žádoucí při procesu tažení využít všech materiálových vlastností.

### **6.4.1 Vyhodnocení nejvhodnější austenitické oceli**

K posouzení nejvhodnějšího materiálu pro výrobu mísy byly vybrány nejdostupnější a cenově nejvýhodnější austenitické oceli, a to 1.4301, 1.4306 a 1.4401. Jednou z podmínek ze zákaznické specifikace byla výroba mísy z nerezavějícího materiálu.

Pás plechu bude dodáván v jakosti 2B podle normy ČSN EN 10088:2015 (Tab. 3.2). Chemické složení (Tab. 3.1) pro austenitické chrom-niklové oceli je podobné, pouze 1.4306 má o něco menší podíl uhlíku. Chrom-nikl-molybdenová austenitická ocel 1.4401 má navíc

prvek molybden, který příznivě ovlivňuje houževnatost toho materiálu (viz kapitola 3.2.5). Mechanické vlastnosti (Tab. 3.3) vybraných austenitických ocelí, pro pás plechu válcovaný za studena, jsou velmi podobné. Zajímavostí je, že materiál 1.4301 má nejlepší poměr  $R_e/R_m$  (větší oblast plasticity). Tažnosti vybraných materiálů jsou také velmi podobné (min. 40 %).

Hlavními parametry výběru nejvhodnějšího materiálu jsou tedy cena, dostupnost a korozní odolnost. Všechny materiály jsou dostupné pro dané technické dodací podmínky. Beton není natolik agresivním prostředím, aby bylo na výrobu mísy nutno použít materiál s lepší odolností proti korozi, bylo by to pro tento případ zbytečné a nákladné. Parametrem, který rozhoduje o nejvhodnější austenitické oceli, je pouze cena, kde nejlevnějším materiálem je 1.4301. V kapitole 7.1 je vybrána nejvhodnější varianta nástřihového plánu i s náklady na pořízení pásů plechu pro 100 kusů výrobků.

## 6.5 Posouzení tvaru výtažku mísy z hlediska zásad technologičnosti

Nejvhodnější výrobní technologií byl zvolen proces tažení plechu. Byl vytvořen dílenský výkres výtažku mísy (viz „Příloha C“) podle výkresu sestavy (viz „Příloha A“), který slouží jako výchozí výrobní dokumentace nejen pro samotnou simulaci procesu tažení plechu, ale také pro posouzení zásad technologičnosti výroby výtažku mísy. Znovu jsou uvedeny všechny zásady technologičnosti výroby z kapitoly 1.3 a k nim jsou uvedeny slovní popisy, které dokazují, jestli je podmínka splněna, či nikoli (*tučnou kurzívou*).

Konkrétní zásady technologičnosti tvaru výtažku mísy

- A. **technologičnost materiálu** (volba materiálu musí splňovat dostačující technologické a funkční vlastnosti a zároveň být levný, tloušťka plechu zpravidla co nejmenší).  
(*Podmínka je splněna – tloušťka materiálu 1 mm, materiál 1.4301 je levný a dostupný*),
- B. **technologičnost tvaru a rozměrů**
  - a) vyhýbat se nesymetrickým a tvarově složitým výtažkům (*Podmínka je splněna – tvar je symetrický a jednoduchý*),
  - b) velké poloměry zaoblení (*Podmínka je splněna – velké poloměry zaoblení dna a poloměr u příruby*),
  - c) výška výtažku co nejmenší (*Podmínka je splněna – výška výtažek mísy byla navrhnutá s ohledem na výrobní možnosti, odzkoušena na reálném kusu*),

- d) nenavrhovat příliš širokou přírubu (*Podmínka splněna – příruba není příliš široká a výsledek se ukáže i v následné simulaci*),
- e) vyhýbat se ostrým rohům pro hranaté výtažky (*Podmínka je splněna – výtažek mísy má rotační tvar*),
- f) minimální možné přesnosti rozměrů (*Podmínka je splněna – výtažek mísy má minimální přesnosti rozměrů podle ISO 2768 a samotného výkresu – „Příloha C“*),
- g) minimální požadavky na kvalitu povrchu (*Podmínka je splněna – výkres „Příloha C“ neobsahuje žádné zvláštní požadavky na drsnost povrchu*).

#### **6.5.1 Celkové zhodnocení zásad technologičnosti pro výtažek mísy**

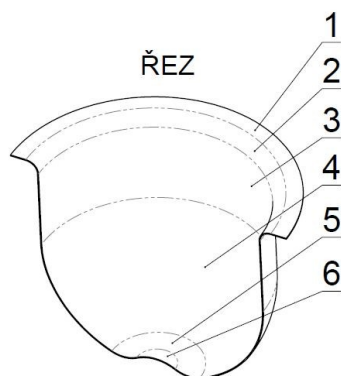
Všechny zásady technologičnosti výroby mísy procesem tažení plechu jsou splněny. Návrh technologického postupu výroby mísy procesem tažení plechu se splněním všech zmíněných podmínek vyhne nadměrné zmetkovitosti již na začátku výrobního procesu, což v konečném důsledku ušetří náklady na výrobu.

### **6.6 Sestrojení tvaru a velikosti přístřihu pro výtažek mísy více metodami**

Rozměry hotového výtažku mísy a nejvhodnější nástřihový plán jsou ovlivněny volbou velikosti polotovaru – přístřihu. Existuje několik variant sestrojení optimálního tvaru a velikosti přístřihu, které jsou zmíněny v kapitole 4. V následující kapitole jsou vypočteny nebo vytvořeny metody sestrojení optimálního tvaru a velikosti přístřihu taktéž podle kapitoly 4. Výtažek mísy je rotačně symetrický, a proto výchozím tvarem je vždy kruh.

#### **6.6.1 Metoda výpočtu pomocí vnitřních ploch výtažku mísy**

Výtažek mísy je rozdělen na šest jednotlivých ploch, u kterých jsou pomocí softwaru SolidWorks spočteny hodnoty vnitřních ploch. Následně se použije vztah pro výpočet teoretického průměru přístřihu (4.2) a vztah pro výpočet skutečného průměru přístřihu (4.1) podle normy ČSN 22 7301.



Obrázek 6.1 – Jednotlivé plochy výtažku mísy vytvořené programem SolidWorks

Tab. 6.1 – Hodnoty jednotlivých ploch pro obrázek 6.1

Plocha 1 = 10 379,8 mm <sup>2</sup>	Plocha 4 = 57 586,3 mm <sup>2</sup>
Plocha 2 = 11 290,5 mm <sup>2</sup>	Plocha 5 = 4 208,4 mm <sup>2</sup>
Plocha 3 = 46 659,8 mm <sup>2</sup>	Plocha 6 = 1 031,2 mm <sup>2</sup>
Celková vnitřní plocha výtažku mísy $S = 131\,156\text{ mm}^2$	

Teoretický průměr přístřihu výtažku mísy podle vztahu (4.2):

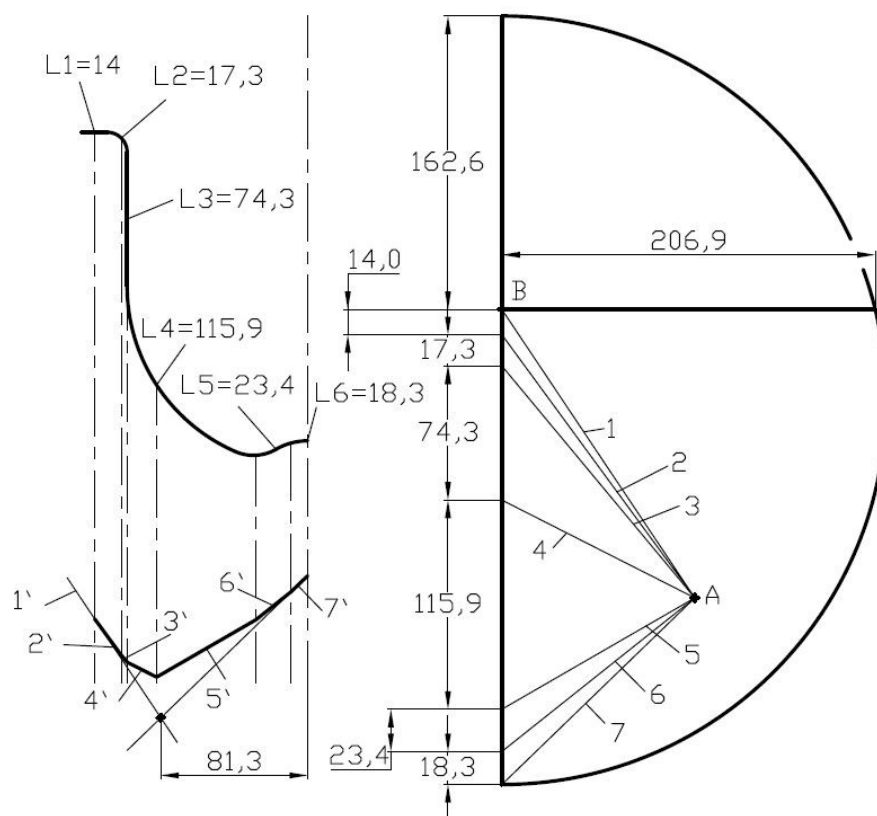
$$D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 131\,156} = 408,8\text{ mm.}$$

Skutečný průměr přístřihu (4.1) – předpokládaný počet tažných operací = 1:

$$D_{0\text{skut}} = 408,8 \cdot [1 + 0,03 + (1 - 1) \cdot 0,01] = 421\text{ mm.}$$

### 6.6.2 Grafická metoda podle Guldinovy věty pro výtažek mísy

Výše popsaná kapitola 4.2 stanovuje obecný postup grafického řešení sestrojení přístřihu výtažku. Níže na obrázku 6.2 se nachází křivka převedená ze softwaru SolidWorks do 2D kreslicího prostředí DraftSight a následně vytvořen grafický postup konstrukce sestrojení přístřihu podle kapitoly 4.2.



Obrázek 6.2 – Vytvořená grafická metoda podle kap. 4.2 v programu DraftSight

Obrázek 6.2 graficky určil poloměr přístřihu na hodnotu 206,9 mm. Tedy průměr přístřihu je roven hodnotě 413,8 mm.

Skutečný průměr přístřihu (4.1) – předpokládaný počet tažných operací = 1:

$$D_{0\text{skut}} = 413,8 \cdot [1 + 0,03 + (1 - 1) \cdot 0,01] = 426 \text{ mm.}$$

### 6.6.3 Metoda řezů pro výtažek mísy

Pro metodu řezů je znovu využit obrázek 6.2. Kapitola 4.3 uvádí, že délky jednotlivých povrchových křivek se korigují hodnotami v rozmezí 0,8–0,9 násobku. Byl tedy zvolen jednotný násobek  $k = 0,8$ .

Teoretický průměr přístřihu:

$$D_0 = [(L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6) \cdot k] \cdot 2 \quad (\text{mm}). \quad (6.1)$$

$$D_0 = [(14 + 17,3 + 74,3 + 115,9 + 23,4 + 18,3) \cdot 0,8] \cdot 2 = 421 \text{ mm.}$$



Přístřihy budou vyřezávány laserovým paprskem a s ohledem na šířku příruby výtažku mísy byl zvolen přídavek 10 mm pro skutečný průměr přístřihu. Výsledná hodnota skutečného průměru přístřihu je 431 mm pro metodu řezů.

#### **6.6.4 Metoda TMSN pro výtažek mísy**

Jelikož tvar přístřihu je kruh a nejedná se o tvarově složitý výtažek, je tato metoda zbytečná a není brána v úvahu pro výběr nejvhodnější metody určení optimální velikosti přístřihu.

#### **6.6.5 Vyhodnocení nejvhodnějšího tvaru a velikosti přístřihu výtažku mísy a vzájemné porovnání**

K porovnání nejvhodnější velikosti a tvaru přístřihu výtažku mísy byly vybrány metody z kapitoly 4 a následně byly tyto metody spočteny nebo graficky zkonstruovány v kapitole 6.

Metoda řezů, která využívá korigující násobek pro rozvin délky povrchových křivek, je založená na odhadu. Tato metoda je nejméně přesná z uvedených metod určení optimální velikosti a tvaru přístřihu výtažku mísy. Výsledek z metody výpočtu pomocí vnitřních ploch výtažku mísy a výsledek z metody grafického určení pomocí Guldinovy věty pro výtažek mísy se liší v 5 mm. Tyto metody jsou přesné, protože pro výpočet byl použit software SolidWorks a DraftSight.

Jako nejvhodnější metoda určení velikosti a tvaru optimálního přístřihu výtažku mísy byla vybrána metoda výpočtu pomocí vnitřních ploch výtažku mísy s výsledkem pro skutečný průměr přístřihu 421 mm. Důvodem je, že tato metoda určila nejmenší průměr přístřihu ze všech vybraných, což má pozdější dopad na případnou velkovýrobní sérii. Ověření správnosti metody je určena nejmenší šířka příruby materiálu 1.4301 po simulaci procesu tažení v kapitole 6.8.5.

### **6.7 Výpočet a vyhodnocení technologických parametrů pro konstrukci tvářecích nástrojů**

V této části technologického návrhu postupu výroby výtažku mísy procesem tažení plechu jsou počítány technologické parametry pro konstrukci tažných nástrojů (tažník, tažnice a přidržovač) podle kapitoly 5. Důležitými technologickými parametry je počet tažných operací, přidržovací, tažná a celková síla lisu, tažná mezera, poloměr zaoblení tažné hrany

tažníku a tažnice. Tyto parametry poslouží jako předběžné vstupní hodnoty pro simulaci v softwaru PAM-STAMP a také pro výrobní výkresovou dokumentaci.

Výrobní dokumentace tvářecích nástrojů obsahuje následující výkresy:

- dílenský výkres tažníku (viz „Příloha F“),
- dílenský výkres tažnice (viz „Příloha G“),
- dílenský výkres přidržovače (viz „Příloha H“),
- dílenský výkres vyražeče.

Pro představu, jak probíhá samotný proces tažení výtažku mísy, slouží schéma procesu tažení (viz „Příloha D“).

### **6.7.1 Stanovení počtu tažných operací**

Hned ze začátku je potřeba zdůraznit, že je dostupná pouze tabulka mezních součinitelů odstupňování tahů  $M$  (Tab. 5.1) pro hlubokotažné oceli a měkké mosazi. Výtažek mísy je vyroben z austenitické oceli, proto výsledek celkového počtu je přibližný.

Celý výpočet technologických parametrů je uveden pro nejvhodnější materiál 1.4301. Podle zkušeností z firmy TPL, která denně pracuje s plechy z materiálu 1.4301 o různých tloušťkách, byl stanoven s dlouhodobé zkušenosti součinitel odstupňování tahu  $M_1 = 0,5$ . Proto je tedy uvažována pouze jedna tažná operace. Pro toto tvrzení je nutné brát v úvahu fakt, že obecně austenitické oceli mají minimální tažnost 40 % podle ČSN EN 10088-2:2015.

Proto výpočty z kapitoly 5.1 zde nejsou uvedeny a pro následné výpočty byl uvažován součinitel odstupňování tahů pro první tažnou operaci  $M_1 = 0,5$ .

### **6.7.2 Rozhodnutí o nutnosti přidržovače a určení přidržovací síly lisu**

Z kapitoly 5.2 byl použit vztah (5.5), který nám určuje podmínku použití přidržovače v první tažné operaci. Pro tento vztah je nejprve třeba určit součinitel  $\alpha$  podle vztahu (5.6). Byla zvolena materiálová konstanta  $z = 1,90$ . Tato hodnota se sice používá pro hlubokotažné oceli, lze ale předpokládat, že je použitelná i pro austenitickou ocel 1.4301. Skutečný průměr přístřihu byl vypočten pomocí metody součtu vnitřních ploch, jedná se o hodnotu 421 mm.

Součinitel  $\alpha$  byl následovně vypočten ze vztahu (5.6):

$$\alpha = 50 \cdot \left( 1,90 - \frac{\sqrt{1}}{\sqrt[3]{421}} \right) = 88,3.$$

Podmínka použití přidržovače z normy ČSN 22 7301 je vypočtena ze vztahu (5.5):

$$88,3 \geq \frac{100 \cdot 201}{421}$$

$$88,3 \geq 47,7 \text{ ... podmínka je splněna}$$

Pro stanovení přidržovací síly podle vztahu (5.9) je potřeba určit potřebný měrný tlak přidržovače v prvním tahu pomocí vztahu (5.7) a účinnou plochu přidržovače v prvním tahu dle vztahu (5.8). Mez pevnosti  $R_m$  materiálu 1.4301 byla zvolena (dle Tab. 3.3) horní hodnotu 750 MPa, a to z důvodu výpočtu nejméně příznivého stavu.

Potřebný měrný tlak přidržovače je vypočten ze vztahu (5.7):

$$p_1 = 0,0025 \cdot \left[ \left( \frac{1}{0,5} - 1 \right)^3 + 0,5 \cdot \frac{201}{100 \cdot 1} \right] \cdot 750 = 3,8 \text{ MPa.}$$

Výsledná hodnota není sice v rozmezí 1–3 MPa (je přibližně o 26 % větší), ale výpočet je proveden pro horní hodnotu meze pevnosti materiálu 1.4301 (nejméně příznivý stav), kromě toho je tato hodnota stanovena pro hlubokotažné oceli.

Účinná plocha přidržovače v prvním tahu je vypočtena ze vztahu (5.8):

$$S_1 = \frac{\pi \cdot 421^2}{4} - \frac{\pi \cdot (201 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 10)^2}{4} = 100\,096,2 \text{ mm}^2.$$

Přidržovací síla v prvním tahu ze vztahu (5.9):

$$F_{p1} = 100\,096,2 \cdot 3,8 = 380\,365,6 \text{ N} = 380,4 \text{ kN.}$$

### 6.7.3 Určení tažné mezery, poloměrů zaoblení tažné hrany tažnice a tažníku

Pro určení velikosti tažné mezery v prvním tahu se využije vztah (5.10) a velikost poloměru zaoblení tažné hrany tažnice je určen vztahem (5.13). Pro stanovení velikosti poloměru zaoblení tažné hrany tažníku nebyl použit žádný vztah z kapitoly 5.6, jelikož výtažek mísy má speciálně tvarované dno a vztahy uvedené v kapitole 5.6 platí pro rovné dno.

Tažná mezera pro první tah je vypočtena ze vztahu (5.10):

$$t_{m1} = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ mm.}$$

Byla zvolena spodní hodnota, jelikož se jedná o tenký plech (1 mm), přestože se zvětší tažná síla.

Doporučená hodnota poloměru zaoblení tažné hrany tažnice pro první tah ze vtahu (5.13):

$$r_{t1} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ mm.}$$

Hodnotou poloměru zaoblení tažné hrany tažnice byla zvolena horní mez, a to z důvodu dosažení co největšího poloměru zaoblení u příruby. Usnadní to proces tažení a umožňuje to zvětšení hloubky výtažku. Díky tomuto poloměru je proces tažení možno vykonat na jednu tažnou operaci.

#### **6.7.4 Stanovení tažné síly a celkové síly lisu**

Tažná síla lisu pro první tah je určena vztahem (5.18) a díky  $M_1 = 0,5$  je stanovena hodnota opravného silového součinitele pro první tažnou operaci  $k_1 = 1,14$  podle tabulky 5.2.

Tažná síla pro první tah je vypočtena ze vztahu (5.18):

$$F_{t1} = \pi \cdot 201 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 750 = 539\,624,7 \text{ N} = 539,6 \text{ kN.}$$

Celková tažná síla lisu je vypočtena ze vztahu (5.20):

$$F_{c1} = 380,4 + 539,6 + 0 = 920 \text{ kN.}$$

#### **6.7.5 Shrnutí výsledků technologických parametrů pro proces tažení**

Z výpočtů vyplývá, že pro první tažnou operaci je nutno použít přidržovač. Tažná mezera má velikost vhodnou pro plech z 1 mm, zároveň se ale zvýší tažná síla lisu. Pro zaoblení poloměru tažné hrany tažnice byla určena nejvyšší hodnota, protože je možné vyrobít výtažek mísy na jednu tažnou operaci a zároveň usnadnit celý proces tažení. Hodnoty přidržovací, tažné a celkové síly lisu musejí být odladěny na reálném kusu, protože byly počítány na nejméně příznivou situaci procesu tažení. Odladění sil lisu pomůže usnadnit celý proces tváření plechu, aby nevznikaly zbytečně velké síly, které by způsobovaly zmetkovitost během výroby výtažku mísy.

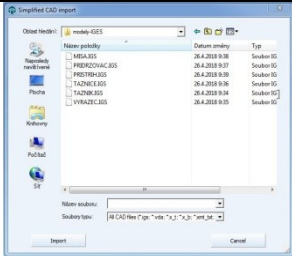

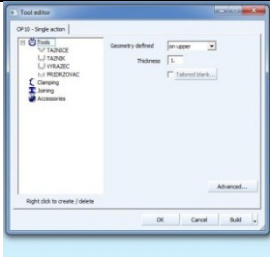
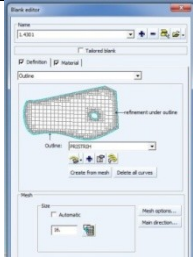
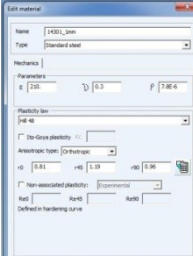
### **6.8 Simulace tažení výtažku mísy pomocí softwaru PAM-STAMP**

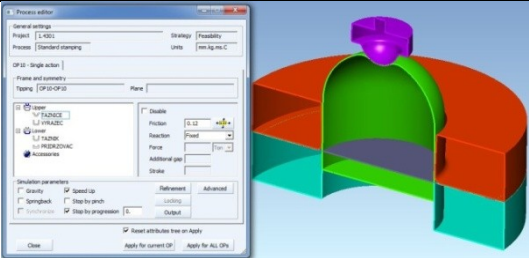
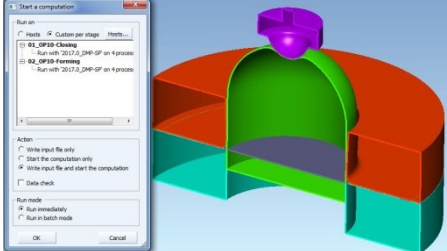
V dnešní době nedílnou součástí tvorby technologického návrhu postupu výroby je provedení simulace speciálním softwarem např.: PAM-STAMP. V následující kapitole je popsán proces tažení v softwaru PAM-STAMP, znázorněny výsledky po procesu tažení plechu vybraných austenitických ocelí (míra ztenčení plechu po procesu tažení, pohyb okrajů

přístřihu po tažení – rozložení napětí a znázornění deformací výtažku v diagramu mezních deformací daného materiálu).

Referenčním vzorkem pro znázornění simulace procesu tažení je nejvhodnější austenitická ocel 1.4301. V následující tabulce 6.2 jsou popsány jednotlivé kroky, které musí být zadány před samotnou simulací v softwaru PAM-STAMP.

Tab. 6.2 – Znázornění postupu před samotnou simulací v softwaru PAM-STAMP

Krok	Proces	Znázornění	Popis
1.	CAD import		nahrání igs. souborů do programu PAM-STAMP
2.	OP manager		vytvoření tvářecího procesu, určení druhu tažení a souřadného systému
3.	Tools building		určení poloh nástrojů v uzavřené poloze
4.	Blank 1		určení konkrétního materiálu a tloušťky přístřihu, velikosti síťování
5.	Blank 2		znázornění materiálových vlastností pro materiál 1.4301

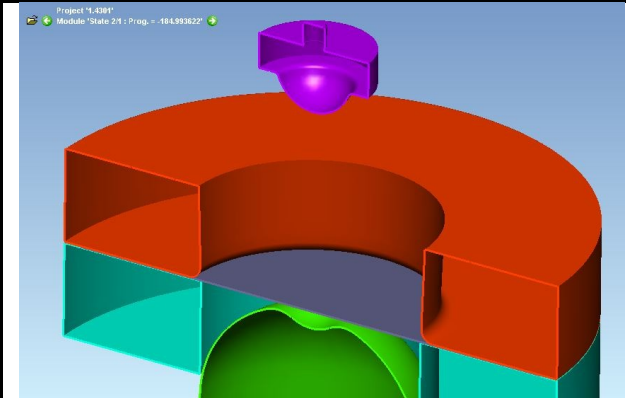
6.	Process editor		zadání hodnoty tření, velikosti přidržovací síly a zdvihu lisu
7.	Computation		výchozí stav výpočtu simulace tažení

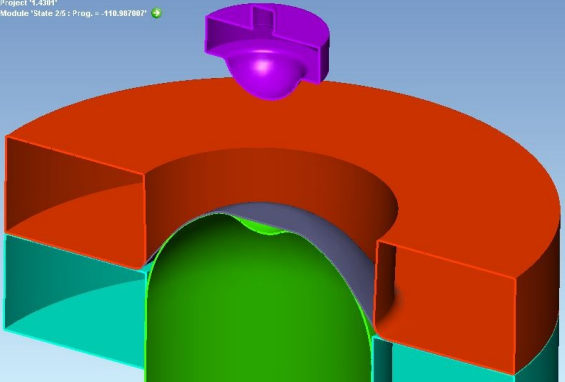
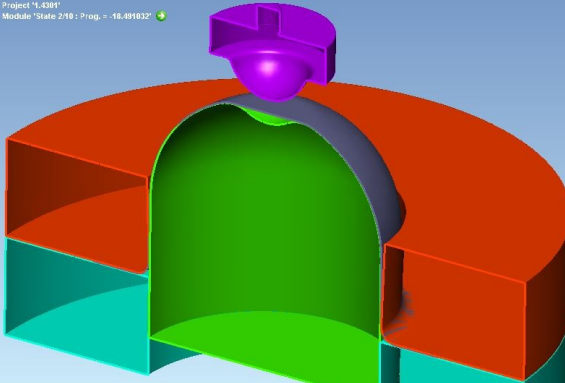
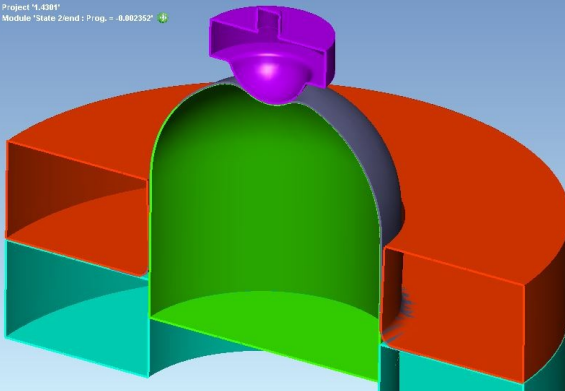
Pro představu filozofie procesu tažení slouží „Příloha D“. V tomto momentu je vše definováno a v následujícím kroku se spustí samotná simulace, která je dále popsána v kapitole 6.8.1.

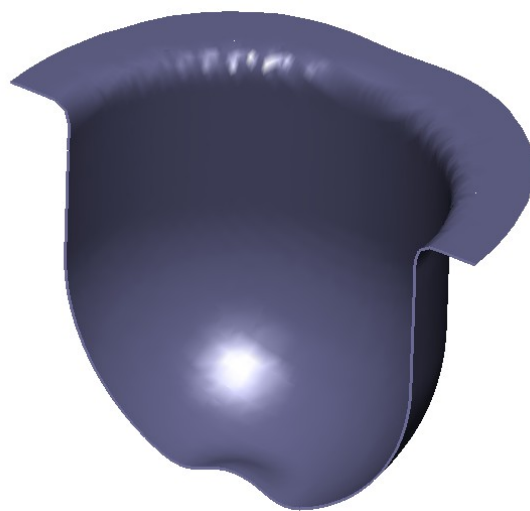
### 6.8.1 Znázornění simulace procesu tažení v několika krocích

V této kapitole je znázorněn na několika krocích celý průběh simulace procesu tažení plechu pro austenitickou ocel 1.4301. Proces tažení byl rozdělen na 11 kroků s hodnotami konkrétních zdvihů beranu lisu. Tabulka 6.3 znázorňuje proces tažení výtažku mísy pro plech 1.4301.

Tab. 6.3 – Průběh simulace procesu tváření

	výchozí poloha simulace procesu tažení (poloha: – 185 mm)
---	---

	<p>(poloha: – 111 mm)</p>
	<p>(poloha: – 18,5 mm)</p>
	<p>konečná poloha simulace procesu tažení</p>



Obrázek 6.3 – Výtažek mísy z materiálu 1.4301 po tažení (řez)

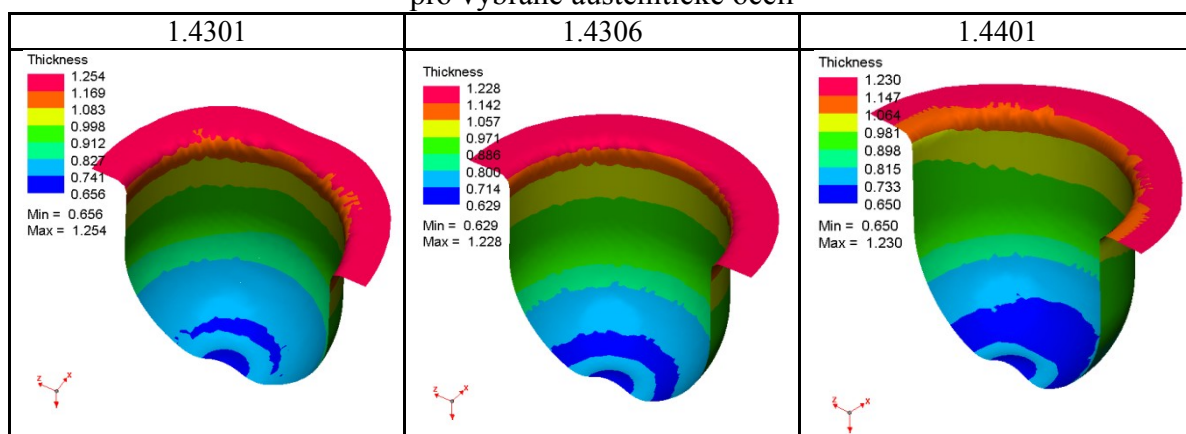
Na obrázku 6.3 je zřejmé, že okraj je nerovnoměrný (cípovitost), což je způsobeno nestejným tažením pláště výtažku. Hlavní důvodem nestejnoměrného tažení je plošná anizotropie plechu.

Plošná anizotropie je směrová závislost mechanických a fyzikálních vlastností v rovině plechu, a to vzhledem ke směru válcování. Tato plošná anizotropie vzniká jako důsledek strukturní a krystalografické textury, které jsou spojeny s metalurgickými a výrobními podmínkami výroby plechů. Pro posouzení vhodnosti daného plechu pro hluboké tažení je nutno vzít plošnou anizotropii těchto mechanických vlastností – mez kluzu, pevnost v tahu, tažnost nebo případně kontrakce, součinitelé plastické anizotropie, exponent deformačního zpevnění a maximální rovnoměrné prodloužení. Hodnoty plošné anizotropie jsou ovlivněny stupněm deformace při válcování za studena, rekrystalizačním žíháním, stupněm deformaci při doválcování, chemickým složením a to zejména obsahem uhlíku. Ke zjištění plošné anizotropie jsou potřebné výsledky zkoušek tahem zkušebních tyčí, které jsou odebrány z konkrétního plechu ve směrech 0°, 45° a 90° vůči směru válcování. Pro zjištění anizotropie se používají ploché zkušební tyče s rozměry v souladu s ČSN EN 10002-1 (Čada 2001, s. 64).

### 6.8.2 Znázornění a zhodnocení tloušťky výtažku mísy po tažení

Prvním parametrem, který je vyhodnocen po simulaci procesu tažení plechu pro vybrané austenitické oceli (1.4301, 1.4306/1.4307 a 1.4401), je analýza ztenčení tloušťky po tažení (Tab. 6.4).

Tab. 6.4 – Míra ztenčení tloušťky plechu výtažku mísy po tažení pro vybrané austenitické oceli



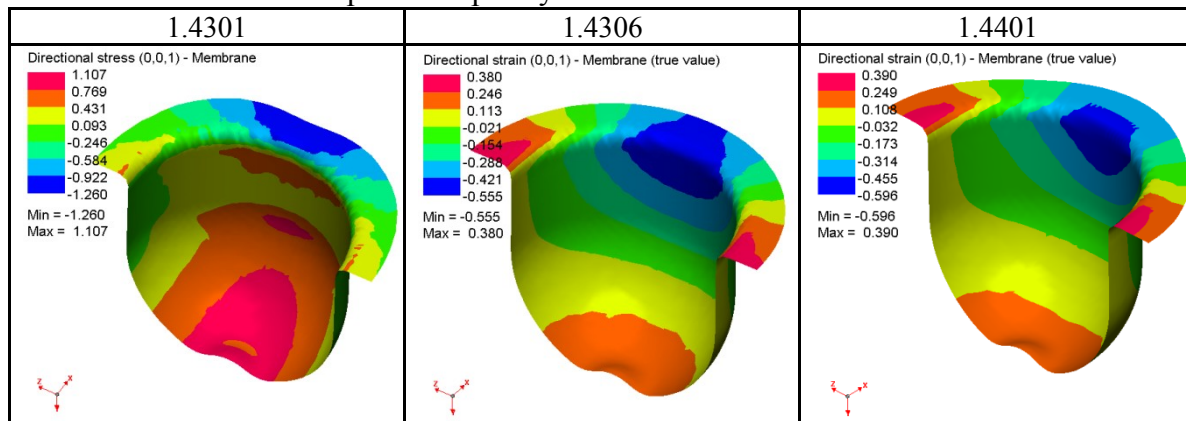
Z tabulky 6.4 vyplývá, že výsledky míry ztenčení tloušťky výtažku mísy po tažení pro vybrané austenitické oceli jsou stejné. Největší ztenčení plechu má materiál 1.4301, ale výsledky se liší v setinách milimetru, což je zanedbatelné pro tento případ výtažku mísy.



### 6.8.3 Znázornění a zhodnocení rozložení napětí po tažení

Dalším zkoumaným parametrem je analýza rozložení napětí pro vybrané austenitické oceli při tažení. Tabulka 6.5 znázorňuje jejich vyhodnocení.

Tab. 6.5 – Analýza rozložení napětí výtažku mísy po tažení pro vybrané austenitické oceli

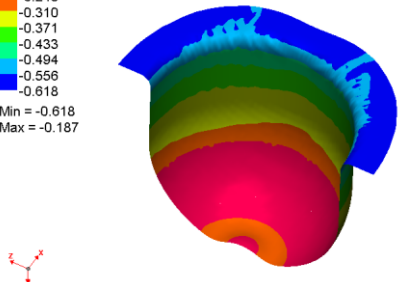
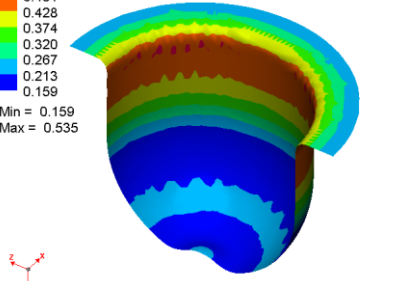
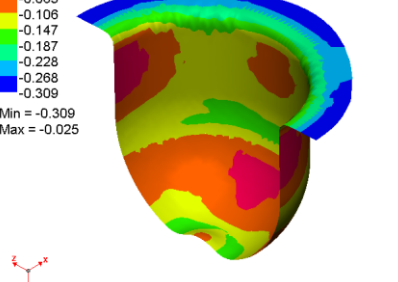


Rozložení napětí po tažení výtažku mísy (Tab. 6.5) má rozdílné výsledky. U dna výtažku mísy je největší tahové napětí a zároveň u okraje výtažku mísy je největší tlakové napětí (materiál 1.4301), což způsobuje plošná anizotropie plechu. Výsledky pro materiály 1.4306 a 1.4401 nejsou tak přesné, protože se jedná o přednastavené materiály z databáze softwaru PAM-STAMP na rozdíl od materiálu 1.4301, který je více odladěný pro případ výtažku mísy.

### 6.8.4 Znázornění a analýza diagramů mezních deformací po tažení

V tabulce 6.6 jsou pro vybrané austenitické oceli znázorněny diagramy mezních deformací, které se nazývají FLD. Zde je uveden diagram FLD (strain) – Rupture risk (diagram rizika prasknutí), důležitý analýzu deformace výtažku mísy.

Tab. 6.6 – Diagram mezních deformací  
(FLD (starin) – Rupture risk) pro vybrané austenitické oceli

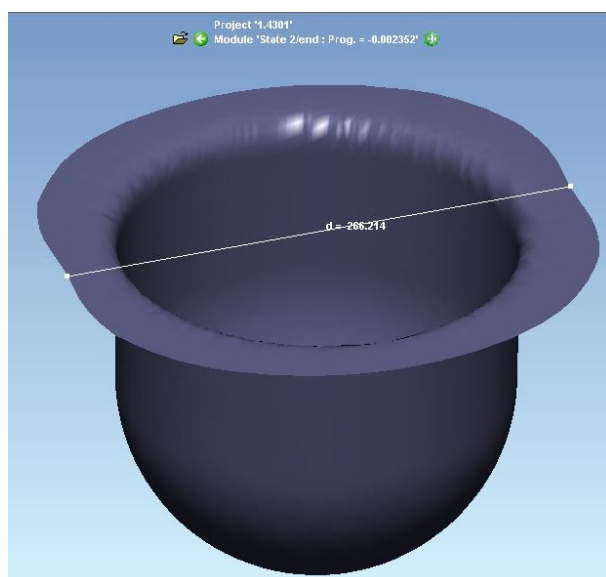
<p>FLD (strain) - Rupture risk - Membrane - FLC DB Blank (absolute)</p>  <p>Min = -0.618 Max = -0.187</p>	<p>1.4301</p>
<p>FLD (strain) - Rupture risk - Membrane - FLC 1.4306 (absolute)</p>  <p>Min = 0.159 Max = 0.535</p>	<p>1.4306</p>
<p>FLD (strain) - Rupture risk - Membrane - FLC-1.4401 (absolute)</p>  <p>Min = -0.309 Max = -0.025</p>	<p>1.4401</p>

Výsledky deformací znázorněné v diagramu mezních deformací jsou pro všechny vybrané austenitické oceli v pořádku, tudíž lze výtažek mísy vyrobit na jednu tažnou operaci. Všechny materiály mají dostatečnou rezervu v tažnosti znázorněné na svislé stupnici

v diagramu mezních deformací. V tomto diagramu lze vidět, že meze mají hodnoty kolem 40 %, ale podle normy ČSN EN 10088-2:2015 se jedná o minimální hodnoty, tudíž reálné hodnoty můžou být ještě o něco vyšší. Díky tomuto poznatku se austenitické oceli velmi často používají k procesu tváření za studena.

### 6.8.5 Znáznornění nejmenší šířky příruby po tažení

Na obrázku 6.4 je zakótován nejmenší rozměr (průměr 266 mm) příruby výtažku mísy v programu PAM-STAMP po simulaci procesu tažení plechu materiálu 1.4301. Z toho plyne, že velikost nejvhodnějšího přístřihu s průměrem 421 mm podle kapitoly 6.6.5 je v pořádku. Nominální velikost příruby (viz „Příloha C“) je 250 mm.



Obrázek 6.4 – Nejmenší velikost příruby výtažku mísy po procesu tažení

## 7 Nástřihový plán pro 100 kusů výtažků mísy

Jedná se o vhodné rozmístění výstřížků na tabuli plechu, případně na pásy nebo pruhy. Při lisování za studena připadá 60 až 70 % celkových výrobních nákladů na materiál, proto je navrženo několik variant a po jejich vyhodnocení je provedena konečná volba.

Kritériem je využití materiálu  $X$ , které je v procentech:

$$X = \frac{\sum S_v}{S_c} \cdot 100 \quad (\%). \quad (7.1)$$

Nástřihu je potřeba věnovat pozornost hlavně v hromadné výrobě, kde vliv spotřebování bude značný. Orientace a uspořádání výstřížků na nástřihovém plánu je dáno především tvarem a rozměrem výstříhu, směrem vláken materiálu, způsobem podávání a tloušťkou

a kvalitou materiálu (Řasa a kolektiv 2003, s. 300). Níže je vyhodnocena nejvhodnější varianta nástřihového plánu.

## 7.1 Vyhodnocení nejvhodnější varianty nástřihového plánu pro 100 kusů

Ve výkresu nástřihový plán (viz „Příloha E“) je vyhodnocena podle vztahu (7.1) nejvhodnější varianta nástřihového plánu s využitím materiálu 71,3 % (varianta 3). Byly porovnány tři varianty rozměrů pásů plechu, a to rozměry 1 000x2 000, 1 250x 2 500 a 1 500x3 000 mm. Přístřihy budou vypalovány laserovým paprskem, který je vhodný pro slabé a střední tloušťky materiálů. Výhodou laserového paprsku je malá šířka řezné spáry. Následuje cenová kalkulace pro 100 kusů výrobků z plechu 1.4301. Materiál je dostupný na webových stránkách [www.nerezmaterial.cz](http://www.nerezmaterial.cz), kde jsou uvedeny ceny pro jednotlivé rozměry pásů plechu.

Tab. 7.1 – Cena za materiál 1.4301 pro 100 výrobků

celkový počet přístřihů	100 kusů
celkový počet přístřihů z varianty 3 (1 250x2 500 mm)	16 kusů
celkový počet přístřihů z 6 pásů plachu (1 250x2 500 mm)	96 kusů
zbylé 4 přístřihy z pásu plechu	1 000x2 000 mm
cena za 6 pásů plechu v rozměru 1 250x2 500 mm	16 065 Kč
cena jednoho pásu plechu v rozměru 1 000x2 000 mm	1 731,2 Kč
celkové náklady za materiál 1.4301 pro 100 kusů	<b>17 796,2 Kč</b>
Zdroj: <a href="https://www.nerezmaterial.cz/index.php?str=produkty&amp;k=plechy&amp;jakost=xWst-t-Nr-t--m-1-t-4301&amp;povrch=x2B&amp;r1=x1">https://www.nerezmaterial.cz/index.php?str=produkty&amp;k=plechy&amp;jakost=xWst-t-Nr-t--m-1-t-4301&amp;povrch=x2B&amp;r1=x1</a>	

## 8 Souhrn technologického návrhu postupu výroby mísy tažením z plechu

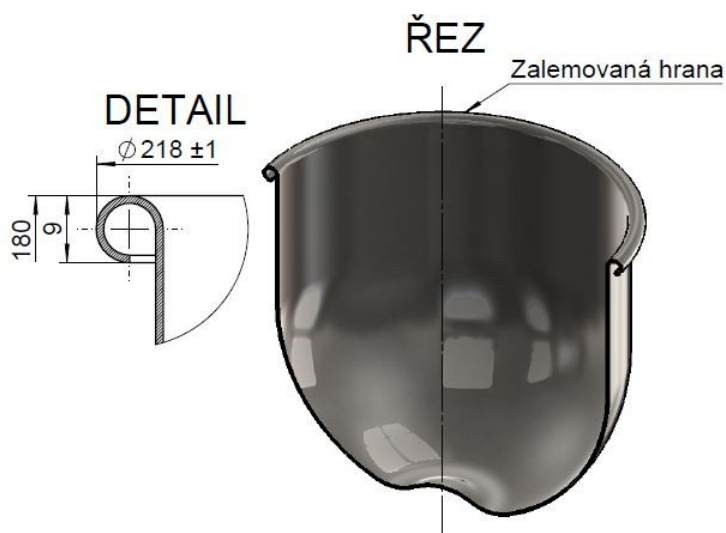
V této závěrečné kapitole je vytvořena tabulka 8.1, která slouží jako výstup technologického návrhu postupu výroby mísy procesem tažení plechu.

Tab. 8.1 – Souhrn technologického návrhu postupu výroby mísy procesem tažení plechu

<b>výkresová dokumentace</b>	„Příloha A“	Sestava mísy
	„Příloha B“	Schéma možných alternativních technologií
	„Příloha C“	Výtažek mísy
	„Příloha D“	Schéma procesu tažení
	„Příloha E“	Nástřihový plán
	„Příloha F“	Tažník
	„Příloha G“	Tažnice
	„Příloha H“	Přidržovač
	„Příloha I“	Vyražeč
<b>nejvhodnější materiál</b>		1.4301 – kapitola 6.4.1
<b>nominální tloušťka polotovaru plechu</b>		1 mm
<b>dodací podmínky pro pás plechu podle:</b>		ČSN EN 10088-2:2015
<b>mezní úchylka tloušťky polotovaru plechu</b>		$\pm 0,06$ mm
<b>vystředění přístřihu na přidržovači</b>		pomocí zarážek
<b>optimální průměr přístřihu</b>		421 mm – kapitola 6.6.5
<b>jakost povrchu plechu</b>		2B (ČSN EN 10088-2:2015) – tabulka 3.2
<b>nejvhodnější nástřihový plán pro 100 kusů výtažků mísy</b>		varianta 3 – příloha E
<b>provedení nástřihového plánu</b>		pálení laserovým paprskem
<b>speciální povrchová úprava výtažku mísy po tažení</b>		ne
<b>brzdící lišty</b>		pro výtažek mísy nejsou uvažovány (dostatečný přidržovací tlak)
<b>tvářecí olej</b>		MARTOL EP 1 000
<b>způsob mazání</b>		rovnoměrně přidržovač, plech ze shora celý a spodek mezikruží (přidržovač a přístřih)
<b>dostupnost tvářecího oleje</b>		<a href="http://oleje-mpa.cz/tvareci-olej-total-martol-ep-1000-201">http://oleje-mpa.cz/tvareci-olej-total-martol-ep-1000-201</a>
<b>přidržovací síla lisu</b>		380,4 kN – kapitola 6.7.2 (na místě odladit)
<b>tažná síla lisu</b>		539,6 kN – kapitola 6.7.4 (na místě odladit)
<b>celková tažná síla lisu</b>		920 kN – kapitola 6.7.4 (na místě odladit)
<b>počet tažných operací</b>		jedna tažná operace
<b>zařízení</b>		hydraulický lis ŽDAS, CTM 250

## 8.1 Dokončovací technologická operace výtažku mísy - lemování hrany

Z hlediska konečného vzhledu a zpevnění hrany příruby je požadavek hranu příruby lemovat. Na obrázku 8.1 jsou uvedeny rozměry pro technologický proces lemování hrany příruby výtažku mísy.



Obrázek 8.1 – Způsob lemování hrany výtažku mísy

Na obrázku 8.2 je znázorněn reálný výrobek výtažku mísy po procesu tažení plechu a po dokončovací technologické operaci – lemování hrany příruby.



Obrázek 8.2 – Reálný výtažek mísy

## 9 Závěr

Z dílčích závěrů zmíněných v přecházejících kapitolách vyplývá, že nejvhodnější technologií výroby mísy byl vybrán proces tažení plechu. Hlavní důvodem bylo speciálně vypouklé dno výtažku mísy, které by jinými technologiemi nebylo možné vyrobit, případně obtížnou cestou s větší zmetkovitostí. Pro proces tažení plechu byl vybrán jako nejvhodnější materiál austenitická chrom-niklová ocel s číselným označením 1.4301. Podle normy ČSN je uváděn pod značením ČSN 17 240. U výběru nejvhodnějšího materiálu rozhodovala především pořizovací cena pásu plechu, která je pro zmíněný materiál 1.4301 nejdostupnější z nabízených materiálových možností. Všechny technické dodací podmínky pro plech jsou určeny normou ČSN EN 10088-2:2015, která je uvedena v kapitole 3. Materiál 1.4301 bude dodáván s jakostí povrchu plechu podle označení 2B (viz Tab. 3.2). Podle kapitoly 1.3 byly posuzovány zásady technologičnosti výroby výtažku mísy procesem tažení plechu. Všechny podmínky byly splněny, a proto je sníženo riziko zmetkovosti výtažku již před samotným procesem tažení. Důležitou částí bylo určit tvar a velikost optimálního polotovaru – přístřihu. Jedná se o symetrický rotační výtažek, protože výchozím tvarem byl kruh. Bylo srovnáno několik metod, z nichž se nejlépe jeví metoda určení velikosti a tvaru optimálního přístřihu pomocí vnitřních ploch výtažku mísy. Tato metoda stanovila z uváděných metod, že průměr skutečného přístřihu je roven 421 mm. V kapitole 6.8.5 je potvrzena správnost úvahy, jelikož nejmenší šířka příruby výtažku mísy je rovna 266 mm a podle dílenského výkresu výtažku mísy (viz „Příloha C“) je nominální průměr příruby roven hodnotě 250 mm. Před samotnou simulací procesu tažení v softwaru PAM-STAMP byly určeny některé technologické parametry pro konstrukci tvářecích nástrojů, např. nutnost použití přidržovače, tažná mezera, poloměr zaoblení tažné hrany tažnice, přidržovací, tažná a celková síla lisu. PAM-STAMP po simulaci procesu tažení vyhodnocoval míru ztenčení tloušťky výtažku mísy, rozložení napětí po tažení a deformaci po tažení v diagramu mezních deformací. Výsledky byly v pořádku pro vybranou austenitickou ocel 1.4301. Tloušťka v nejtenčím místě byla sice oproti nominální tloušťce 1 mm menší o 35 %, ale výtažek mísy není namáhán ve větší míře, než na vlastní váhu betonové směsi (zhruba 10 kg), proto je hodnota vyhovující. Deformace se pohybovaly v diagramu mezních deformací v určených hranicích, tudíž výtažek je možno táhnout na jednu tažnou operaci. Doporučení, která plynou z celého technologického návrhu postupu výroby mísy procesem tažení plechu lze rozdělit na praktická a odborná doporučení.

Z praktické části závěru pro výtažek mísy lze zmínit doporučení odebrat vzorek z reálného plechu a stanovit reálné hodnoty plošné anizotropie ve směru válcování  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  a  $90^\circ$  podle normy ČSN EN 10002-1, poté tyto hodnoty převést do softwaru PAM-STAMP a znovu provést simulaci procesu tažení. Jsou tak získány reálnější výsledky pro konkrétní dávku pásů plechu. Dalším doporučením je vzít jeden vzorek reálného přístřihu, provést na něm zesíťování metodou deformačních sítí a v průběhu tažení (případně po tažení) výtažku postupně vyhodnocovat deformace. Tím jsou získány podklady pro skutečnou analýzu tvářecího procesu, jako jsou např. rozložení deformací, napjatost v jednotlivých místech výtažku, atd.

Co se odborné části závěru týče, bylo by přínosné do budoucna vytvořit pro austenitické oceli podobnou tabulku mezních součinitelů odstupňování tahů, jakou mají hlubokotažné oceli a měkké mosazi. Norma ČSN 22 7301 má poslední změnu z roku 1991 a v současné době se pro proces tažení plechu za studena používají jiné materiály, postupem času také došlo k celkové automatizaci a modernizaci celého procesu tažení. Korozivzdorné oceli se začaly ve větší míře používat nejenom díky svým odolnostem proti korozi, ale také díky svým tvářecím vlastnostem. Díky případnému vytvoření této tabulky pro austenitické oceli by bylo možné již v návrhu určit počet tažných operací pro technologický postup výroby.



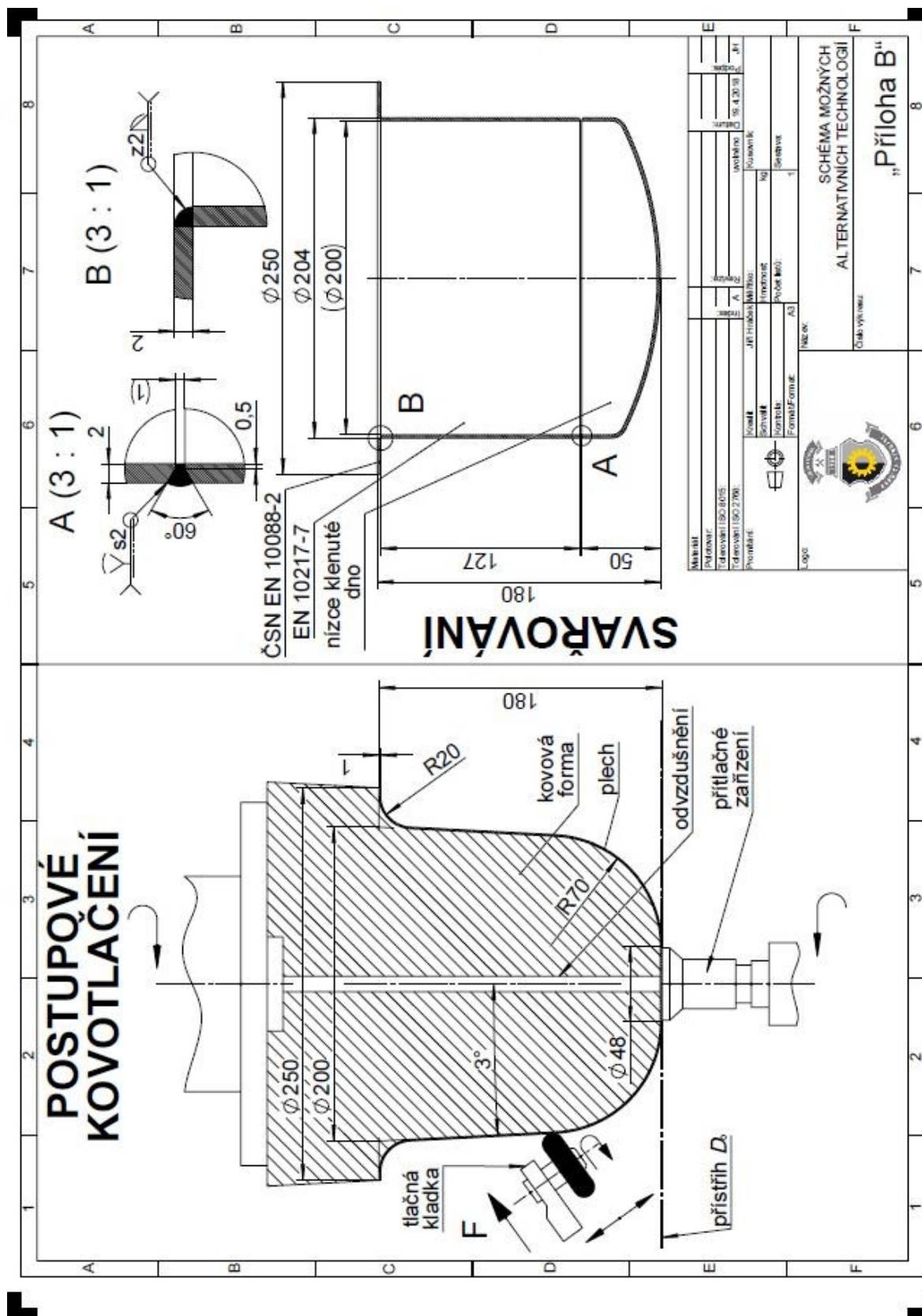
## 10 Seznam použité literatury a související legislativy

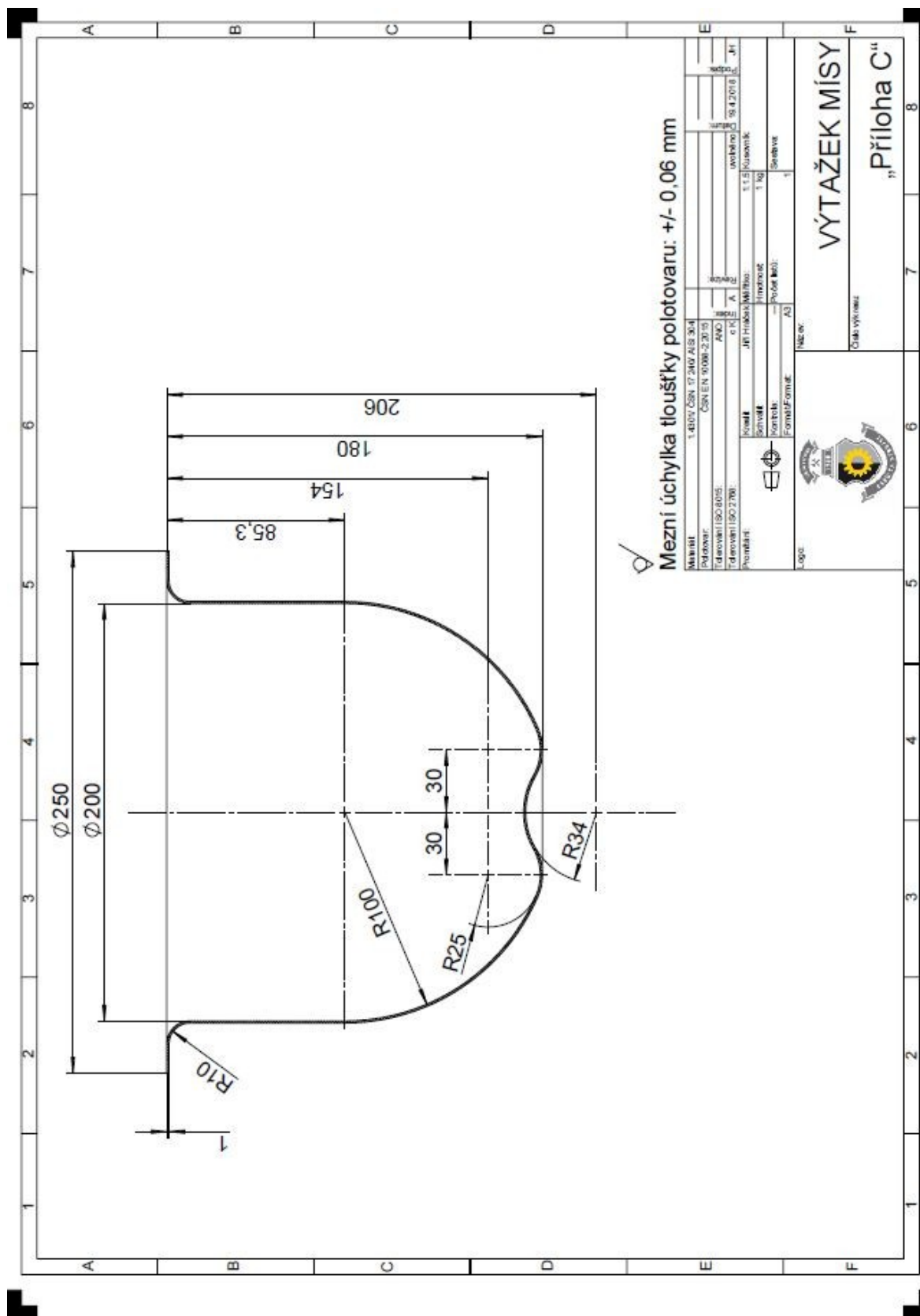
1. ČADA, Radek. *Technologie I* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2007 [cit. 2018-05-13], s. 157, 161–170, 183. ISBN 978-80-248-1507-7.
2. *Technologie tváření kovů* [online]. [www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz) [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
3. ČADA, Radek, Jakub MACHÁLEK a Barbora FRODLOVÁ. *Týmová cvičení předmětu Technologie tváření a slévání: návody do cvičení předmětu "Technologie tváření a slévání"*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012, s. 93–94, 101, 103–110, 114–115, 117, 121–122. ISBN 978-80-248-2718-6.
4. FRODLOVÁ, Barbora a Radek ČADA. *Simulace procesů plošného tváření v software PAM-STAMP: učební text předmětu "Tváritelnost materiálu a nekonvenční metody ve tváření"*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012, s. 10–12. ISBN 978-80-248-2715-5.
5. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, edice. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. Brno: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic, s. 105–106. ISBN 978-80-214-2629-0.
6. STRNADEL, Bohumír. *Nauka o materiálu*. 2. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2007, s. 130. ISBN 978-80-248-0689-1.
7. MICHNA, Štefan a Nataša NÁPRSTKOVÁ. *Tváření*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012, s. 34. ISBN 978-80-7414-445-5.
8. *Specifikace nerezových materiálů* [online]. [www.armat.cz](http://www.armat.cz) [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
9. ČSN EN 10088-2:2015. *Korozivzdorné oceli – Část 2: Technické dodací podmínky pro plechy a pásy z ocelí odolných korozi pro obecné použití*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015, s. 11–12.

10. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – teoretický základ* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2013 [cit. 2018-05-13], s. 10. ISBN 978-80-248-3015-5.
11. TPL: *Historie firmy* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.tpl.cz>
12. MEVA GROUP: *Kovotlačení* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.meva.eu/lisovani-a-kovotlaceni>
13. *Technologie tváření kovů* [online]. [www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz) [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/10.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm)
14. ČADA, Radek. *Tvářitelnost ocelových plechů*. Ostrava: Repronis, 2001, s. 64. ISBN 80-86122-77-8.
15. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003, s. 300. ISBN 80-7183-284-7.

„Příloha A“ – Sestava mísy







1	2	3	4	5	6	7	8						
<b>Legenda:</b> <table border="1"> <tr> <td>fiolová = vyražec</td><td>šedá = přístřih</td><td>zelená = tažník</td></tr> <tr> <td>červená = tažnice</td><td>modrá = přídržovač</td><td>žlutá = vytáček</td></tr> </table>								fiolová = vyražec	šedá = přístřih	zelená = tažník	červená = tažnice	modrá = přídržovač	žlutá = vytáček
fiolová = vyražec	šedá = přístřih	zelená = tažník											
červená = tažnice	modrá = přídržovač	žlutá = vytáček											
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 22%;"> <b>1. FÁZE</b>  </div> <div style="width: 22%;"> <b>2. FÁZE</b>  </div> <div style="width: 22%;"> <b>3. FÁZE</b>  </div> <div style="width: 22%;"> <b>4. FÁZE</b>  </div> </div>													
<table border="1"> <tr> <td colspan="4"> <b>Popis</b>                  výchozí poloha                  sevření přístřihu - výchozí poloha tažení                  přetlačení dolního beranu horním - max. poloha                  konečná poloha             </td> </tr> </table>								<b>Popis</b> výchozí poloha sevření přístřihu - výchozí poloha tažení přetlačení dolního beranu horním - max. poloha konečná poloha					
<b>Popis</b> výchozí poloha sevření přístřihu - výchozí poloha tažení přetlačení dolního beranu horním - max. poloha konečná poloha													
<table border="1"> <tr> <td colspan="4"> <b>SCHÉMA PROCESU TAŽENÍ</b>                  Číslo výkresu:             </td> </tr> </table>								<b>SCHÉMA PROCESU TAŽENÍ</b> Číslo výkresu:					
<b>SCHÉMA PROCESU TAŽENÍ</b> Číslo výkresu:													
<table border="1"> <tr> <td colspan="4"> <b>Příloha D</b> </td> </tr> </table>								<b>Příloha D</b>					
<b>Příloha D</b>													



